Справочник по радиоизмерительным приборам



Справочник по радиоизмерительным приборам

Под редакцией

В. С. НАСОНОВА

ТОМ I

Измерение напряжений, параметров элементов и цепей. Источники питания



МОСКВА «СОВЕТСКОЕ РАДИО» 1976

6Ф2.08
С71

УДК 621.317

Справочник по радиоизмерительным приборам. Под ред. В. С. Насонова. Т. 1. Измерение напряжений, параметров элементов и цепей. Источники питания. М., «Сов. радио», 1976. 232 с.

Авт.: Абубакиров Б. А., Авдеева А. А., Гуревич М. Л. и др.

В первом томе справочника приведены подробные технические характеристики радиоизмерительных приборов для измерения напряжений, токов, параметров электрических цепей с сосредоточенными и распределенными постоянными, параметров полупроводниковых диодов, транзисторов, интегральных схем в широком диапазоне частот, универсальных источников питания, измерительных усилителей, измерителей электрических и магнитных свойств материалов. Приборы сгруппированы по видам радиотехнических измерений. Приведены сведения о методах измерений, способствующие выбору конкретных типов приборов для определенных измерительных задач.

Справочник предназначен для инженерно-технических и научных работников как радиотехнических, так и не радиотехнических отраслей народного хозяйства, использующих радиоизмерительную аппаратуру, а также занимающихся разработкой систем сбора и обработки информации, проектированием контрольно-измерительных систем для производственных процессов.

Рис. 295, табл. 113, библ. 81 назв.

Абубакиров Б. А., Авдеева А. А., Гуревич М. Л., Гудкович Б. Д., Добош Е. В., Елизаров А. Н., Исаев В. Н., Козлов Ю. В., Майданский М. Е., Нечаев Э. В., Санников В. А., Синев Н. А., Смирнов Г. Н., Элнан Л. Е.

Редакция радиотехнической литературы

С $\frac{30405-048}{046(01)-76}$ 8-76

Оглавление

Предисловие

В самых различных областях науки и техники исследования и организация производства немыслимы без применения обширной номенклатуры радиоизмерительных средств. С их помощью осуществляется количественная оценка сложных физических явлений в живой и неживой природе, а также управление сложными научными и техническими экспериментами и технологическими процессами и обработка получаемой информации.

Комплекс радиоизмерительных средств включает в свой состав отдельные радиоизмерительные приборы, специальные стенды и сложные измерительные системы, использующие быстродействующие электронно-вычислительные машины для управления как самим процессом измерений, так и обработки получаемых результатов.

Следует отметить, что бурное развитие вычислительной техники и микроэлектроники оказывает решающее воздействие на развитие средств измерения. Не только измерительные системы, но и отдельные приборы строятся на основе методов цифровой обработки информации и включают в себя отдельные элементы вычислительных устройств. Радиоизмерительные приборы становятся многофункциональными; при этом повышается разрешающая способность и точность измерений при сокращении их габаритных размеров и массы.

Ввиду обширной номенклатуры трудно в одном справочнике дать сведения о всех имеющихся радиоизмерительных средствах, так как подготовка такого справочника займет продолжительное время и приведенный в нем материал потеряет информационную ценность.

Поэтому авторы данного справочника сочли разумным ограничиться рассмотрением радиоизмерительных приборов общего применения, широко используемых самостоятельно. На основе этих приборов также можно создавать различные, предназначенные для решения конкретных задач радиоизмерительные системы. Использование специальных преобразователей различных неэлектрических величин (перемещение, скорость, ускорение, давление, химический состав, температура и т. п.) в электрические сигналы позволяет решать с помощью этих приборов очень широкий круг задач в таких областях науки и техники, как механика, физика, химия, биология, медицина, акустика и др.

Имеющаяся справочная литература по радиоизмерительным приборам посвящена в основном вопросам их эксплуатации и ремонта. Однако в настоящее время, когда радиотехнические методы измерений проникают в самые различные области науки и техники, возникает потребность в справочной литературе, помогающей специалистам правильно формулировать измерительные задачи, исходя из оптимального использования возможностей имеющихся измерительных средств. Авторы справочника поставили перед собой цель помочь специалистам в решении этих вопросов.

В общих сведениях, предшествующих описаниям приборов, приведены определения измеряемых величин, рассмотрены методы измерения, положенные в основу построения радиоизмерительных приборов, а также отмечены некоторые общие, наиболее важные особенности применения этих приборов. При описании радиоизмерительных приборов, их технических характеристик обращено особое внимание на возможность их использования совместно с другими приборами, приведены примеры построения отдельных измерительных

систем. Эти сведения позволяют специалистам различных областей науки и техники более правильно подойти к выбору измерительного прибора, необходимого для решения конкретной задачи измерения.

Справочник по радиоизмерительным приборам разделен на три тома. В первом рассмотрены приборы для измерения напряжений в диапазоне от постоянного тока до сверхвысоких частот, в том числе импульсных напряжений, установки для калибровки вольтметров, универсальные приборы типа вольтметров, измерители сверхмалых токов, универсальные источники питания, в том числе с программным управлением, измерители индуктивности, добротности, емкости, сопротивления, параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем, амплитудно-частотных характеристик, элементов и трактов с распределенными постоянными, фазометры, измерительные усилители и приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов.

Во втором томе будут приведены сведения о приборах для измерения частоты и времени, генераторах радиочастотных сигналов, измерителях мощности в диапазоне от низких до сверхвысоких частот.

Третий том будет посвящен таким приборам, как осциллографы, генераторы импульсов, модулометры, измерители девиации частоты, анализаторы спектра, измерительные приемники, селективные вольтметры, измерители параметров импульсов, временных интервалов, коэффициента шума.

Обозначения приборов, а также их расположение по группам приведены в соответствии с ГОСТ 15094-69.

В структурных схемах приборов использованы обозначения, рекомендуемые ЕСКД, ГОСТ 2.729—68 и ГОСТ 2.737—68.

Авторы выражают глубокую признательность Л. И. Панкратову и Б. Е. Редькину за ценные советы и замечания по построению справочника. Особую благодарность авторы выражают Н. Л. Гришановой, взявшей на себя большой труд по подготовке рукописи к печати, Т. М. Орлинской и Л. П. Коноваловой, принявшим активное участие в подготовке материалов справочника.



Глава 1

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

1.1. Общие сведения

Эти приборы обеспечивают измерение всех видов напряжений — постоянного, переменного и импульсного токов. Кроме того, они позволяют измерять отношение двух напряжений, преобразовывать один вид напряжений в другой, калибровать, градуировать и поверять измерители напряжений.

В соответствии с назначением приборы этой группы делятся на подгруппы:

— приборы и установки для поверки вольтметров. Эти устройства необходимы при настройке, регулировке и поверке измерителей напряжения. Основу их составляют источники напряжений калиброванного уровня;

— вольтметры переменного тока. Сюда относятся приборы для измерения напряжений в диапазоне частот от единиц герц до 1000 МГц (для измерения напряжений переменного тока можно также применять приборы следующей подгруппы);

— вольтметры импульсного тока. Здесь объединены приборы для измерения одиночных или повторяющихся импульсных и импульсно-модулированных напряжений * в диапазоне длительностей от единиц наносекунд до десятков миллисекунд. Помимо основного назначения, приборы этой подгруппы можно использовать для измерения амплитудных значений напряжений переменного тока, а некоторые из них и для измерения напряжений постоянного тока;

— вольтметры универсальные. Эти приборы наряду с основной функцией — измерение напряжений — позволяют измерять величину постоянного тока, сопротивление постоянному току, частоту;

— измерители отношения двух напряжений. С помощью этих приборов можно определять отношения двух напряжений постоянного или переменного тока;

— преобразователи напряжения. Они служат для преобразования одного вида напряжения в другое. Эти приборы, как правило, не имеют отсчетного устройства и применяются либо в составе измерительных систем, либо в комплекте с другими приборами. Так, преобразователи напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока чаще всего используются совместно с вольтметрами постоянного тока.

Функцию преобразования напряжений выполняют многие приборы рассматриваемой группы. Например, все цифровые приборы обеспечивают выдачу информации об измеряемом напряжении в цифровом коде и, следовательно, являются преобразователями типа напряжение — код. Большинство вольтметров переменного тока имеют на выходе напряжение постоянного тока, пропорциональное входной величине, и поэтому являются преобразователями напряжений

* Импульсные и импульсно-модулированные напряжения можно также измерять приборами группы «Измерители параметров импульсов».

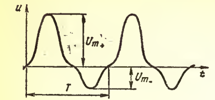


Рис. 1.1.

переменного тока в постоянное. Таким образом, по принципу действия и способу индикации рассматриваемые приборы можно разделить на аналоговые и цифровые. Последние обеспечивают цифровую индикацию измеряемой величины и выдачу результата измерения в коде, что является существенным достоинством их, так как позволяет передавать результаты измерений по каналам связи без потерь точности. Кроме того, цифровые вольтметры обладают высокой точностью, большой скоростью измерения, возможностью дистанционного и программного управления. Эти особенности цифровых вольтметров обусловили их успешное применение в составе автоматизированных измерительных систем. Все сигналы управления цифровыми вольтметрами, их уровни и выдаваемые коды нормализованы.

Напряжение постоянного тока характеризуется величиной и полярностью.

Напряжение переменного тока $u(t)$ также характеризуется величиной, которая может выражаться в виде среднеквадратического $U_{ск}$, средневыпрямленного $U_{св}$ и максимального U_m значений. На практике чаще всего используют переменные, периодически повторяющиеся по форме напряжения (рис. 1.1). В этом случае

$$U_{ск} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)\,dt};$$

$$U_{св} = \frac{1}{T}\int_0^T |u(t)|\,dt \quad \text{(рис. 1.2)}.$$

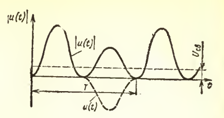


Рис. 1.2.

Коэффициент, представляющий собой отношение максимального значения к среднеквадратическому, называется коэффициентом амплитуды (пик-фактором)

$$K_а = U_m/U_{ск}.$$

Напряжения, форма которых близка к гармонической, характеризуются, кроме того, коэффициентом гармоник

$$K_г = \frac{1}{U_{ск}}\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2},$$

где U_n — амплитуда n-й гармоники.

Среднеквадратическое, средневыпрямленное и максимальное (амплитудное) значения напряжения синусоидальной формы связаны между собой следующим образом:

$$U_{ск} = U_m/\sqrt{2};$$

$$U_{св} = 2U_m/\pi; \quad K_а = \sqrt{2}.$$

Импульсное напряжение (рис. 1.3) описывается такими параметрами,

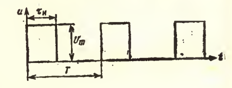


Рис. 1.3.

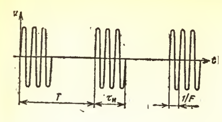


Рис. 1.4.

как длительиость импульса $\tau_и$, амплитуда сигиала U_m, период T, скважиость $T/\tau_и$. Импульсио-модулироваииое напряжеиие характеризуется также частотой заполиеиия F (рис. 1.4).

Схемы построения вольтметров

Методы измереиия, используемые в вольтметрах, различиые.

Вольтметры постояииого тока со стрелочным отсчетом. В этих приборах (рис. 1.5) входиой резистивиый

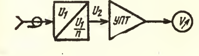


Рис. 1.5.

делитель ослабляет измеряемые сигналы до уровия, необходимого для нормальиой работы усилителя постояииого тока (УПТ). Последиий имеет большое входиое сопротивлеиие, малый дрейф нуля, высокую стабильиость коэффициеита усилеиия, малый уровеиь шумов. Для достижеиия этого УПТ охвачеи глубокой отрицательиой обратной связью.

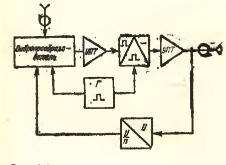


Рис. 1.6.

В вольтметрах постояииого тока высокой чувствительиости (рис. 1.6) входиой сигнал преобразуется в переменный, усиливается и затем виовь преобразуется в напряжеиие постояииого тока. Отсчетиым прибором вольтметра является стрелочный индикатор, как правило, магнитоэлектрической системы, рассчитаиный на номиальный ток 50—200 мкА.

Вольтметры постояииого тока с цифровым отсчетом. Измеряемое напряжеиие после усилеиия (ослаблеиия) преобразуется во времениой интервал, частоту или цифровой код. Информация об измеряемой величиие нидицируется иа цифровом табло прибора, а также выдается в виде цифрового кода.

Цифровые вольтметры с время-импульсиым преобразованием. В основу работы этих приборов (рис. 1.7)

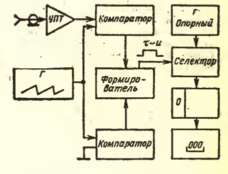


Рис. 1.7.

положен метод преобразования измеряемого напряжения во временной интервал (рис. 1.8), так как по интервалу определяется время, в течение

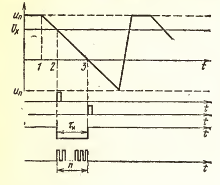


Рис. 1.8.

которого опорное линейно-изменяющееся напряжение достигнет величины входного напряжения (или наоборот). С началом измерительного цикла *1* включается генератор пилообразного напряжения. В момент равенства напряжений *2* компаратор вырабатывает импульс запуска, поступающий на формирователь временного интервала, а в момент *3* достижения пилообразным напряжением нулевого значения формируется импульс остановки формирователя. Таким образом длительность сформированного импульса $\tau_и$ пропорциональна значению измеряемого напряжения. Электронный счетчик подсчитывает число импульсов тактовой частоты опорного генератора за интервал времени, равный длительности импульса $\tau_и$.

Время-импульсные вольтметры наиболее просты по схемному построению.

Цифровые вольтметры с кодоимпульсным преобразованием. Эти приборы, иногда называемые вольтметрами поразрядного уравновешивания, занимают особое место среди современных вольтметров как наиболее быстродействующие, позволяющие реализовать достаточно высокую точность.

Принцип действия вольтметра с кодоимпульсным преобразованием, структурная схема которого приведена на рис. 1.9, поясняется временной диаграммой на рис. 1.10. Измеряемое напряжение после усиления

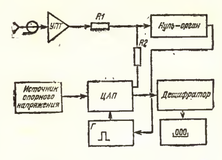


Рис. 1.9.

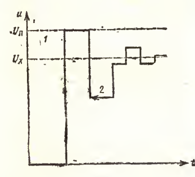


Рис. 1.10.

и приведения к одной полярности сравнивается с напряжением на выходе цифроаналогового преобразователя (ЦАП)

Выходное напряжение ЦАП, управляемого блоком автоматики, выдается с весами 1-2-4-8 или 1-2-4-4. При каждом такте сравнения нуль-орган формирует импульсы, соответствующие состоянию «больше — меньше» и управляющие блоком автоматики. В момент равенства измеряемого и опорного сигналов нуль-орган вырабатывает стоп-импульс для управления дешифратором кода и цифровой индикацией.

Интегрирующие цифровые вольтметры. Эти приборы измеряют среднее значение входного напряжения за определенный интервал времени

наблюдения в отличие от вольтметров других типов, которые измеряют напряжение в конце или начале интервала времени наблюдения.

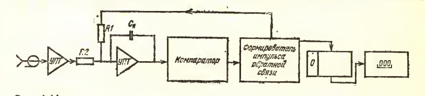


Рис. 1.11.

Работа интегрирующих вольтметров, как правило, основана на методе преобразования напряжения в частоту (рис. 1.11). Заряд конденсатора $C_и$ интегратора осуществляется измеряемым напряжением, а его разряд производится нормированным по площади импульсом напряжения обратной связи, момент подачи которого определяется компаратором. При этом устройство работает как замкнутая система автоматического

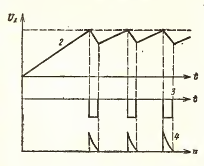


Рис. 1.12.

регулирования частоты генератора импульсов, которая в данном случае пропорциональна входному напряжению (рис. 1.12).

В вольтметрах двойного интегрирования, структурная схема которых показана на рис. 1.13, преобразование измеряемого напряжения в пропорциональный ему интервал времени производится в два такта. С помощью ключа $K1$ входное напряжение подключается на вход интегратора. Интегрирование входного сигнала продолжается в течение времени T, соответствующего первому такту интегрирования. Далее измеряемое напряжение отключается и вход интегратора через ключ $K2$ соединяется с источником опорного напряжения, полярность которого обратна полярности измеряемого напряжения. В

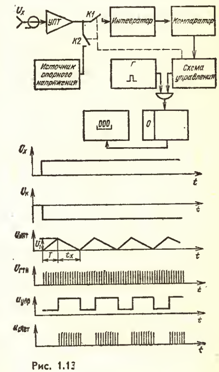


Рис. 1.13

результате интегратор возвращается в исходное состояние. Момент равенства напряжения на выходе интегратора нулю фиксируется компаратором. Таким образом, время второ-

го такта t_x пропорционально измеряемому напряжению Аналитически это можно представить следующим образом:

$$U_{=1} = \frac{1}{\tau_1} \int_0^T kU_{=\text{вх}}\, dt =$$

$$= \frac{T}{\tau_1} kU_{=\text{вх}} =$$

$$= \frac{1}{\tau_2} \int_0^{t_x} U_0\, dt = \frac{t_x}{\tau_2} U_0,$$

$$U_{=\text{вх}} = \left(\frac{U_0}{T} \frac{\tau_1}{\tau_2} \frac{1}{k} \right) t_x.$$

ляется интегрирующим, что обеспечивает устранение влияния помех, если они поступают на вход вольтметра вместе с измеряемым сигналом. Высокая линейность и точность измерения обеспечивается специальными структурными методами.

Важной особенностью всех интегрирующих и комбинированных вольтметров является то, что все они гарантируют высокую точность измерений в условиях сильных помех последовательного вида, т. е. когда источник помех оказывается включенным последовательно с измеряемым сигналом по отношению ко входу прибора. Как видно из рис. 1.15, если длительность измерительного цикла t_x кратна периоду помехи $T_п$, то на

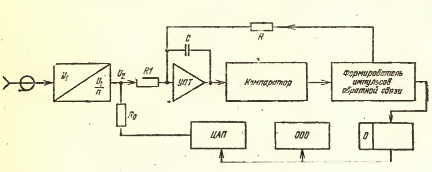


Рис. 1.14.

Длительность интервала времени t_x определяется путем подсчета числа импульсов эталонной частоты, поступающих на счетчик через схему *И* с генератора тактовых импульсов в течение второго такта интегрирования.

Интегрирующие вольтметры имеют более высокую точность измерения, чем время-импульсные, и способны измерять напряжения даже при значительных помехах.

Комбинированные вольтметры. Эти приборы, функциональная схема которых приведена на рис. 1.14, позволяют получить наиболее высокую точность измерения, поскольку они сочетают в себе положительные стороны нескольких методов измерения. Как правило, первый цикл измерения яв-

выходе интегратора не будет составляющей напряжения, зависящей от величины помехи. Следовательно, в этом случае, помеха будет подав-

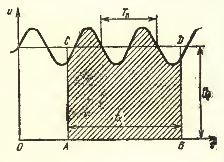


Рис. 1.15.

лена полностью (площадь заштрихованной фигуры равна площади прямоугольника *ABCD*, соответствующей значению аходного напряжеиия при отсутстаии помехи).

Вольтметры переменного напряжения. Для измерения напряжеиий перемеииого тока используются вольтметры и преобразователи переменного напряжения а постояиное, работающие а комплекте с вольтметром постояииого тока Существует три типа вольтметров переменного напряжеиия: средиеквадратического, амплитудиого и средиеаыпрямлеииого значения.

В аольтметрах средиекаадратических значений (рис. 1.16) используются термоэлектрические преобразователи. На подогреаатель одиой термопары *ТП1* подается измеряемое напряжение перемеииого тока через усилитель, а на подогреватель другой идеитичиой *ТП2* — напряжеиие постояииого тока обратиой саязи $U_{вых}$. Диффереициальиый УПТ, создающий напряжение обратиой саязи, подключеи к аыходам термопар. Благодаря большому коэффициеиту усиления УПТ и идеитичиости термопар значение постояииого аыходиого напряжения $U_{вых}$ раано средиеквадратическому значению перемеииого напряжения $kU_{вх}$ иа аходе *ТП1*: $U_{вых}=kU_{вх}$.

Вольтметры средиеквадратических значеннй обеспечиаают наиболее аысокую точность измерения напряжеиий перемеииого тока, имеющих большое количестао гармонических составляющих. Одиако аремя измерения, определяемое инерционностью термопреобразоаателей, доаольио аелико и составляет 1—3 с. Значительно бо́льшим быстродейстаием обладают преобразоаатели средиеаыпрямлениых значений (рис. 1.17). В простейшем из них (рис. 1.17, *а*) аходное напряжение аыпрямляется веитилем *Д* и подается на выход через фильтр нижних частот. Напряжение на выходе пропорциоиально средиеаыпрямлеиному значению измеряемого напряжения. Неидеальность аеитильиых саойств диода *Д* обуслаалиаает нелииейность и иизкую стабильность коэффициента передачи, поэтому такая схема без обратиой саязи применяется редко.

Более соаершенным яаляется устройстао, построеииое на базе усилителя с детектором (рис. 1.17, *б*), охааченных общей отрицательной обратиой саязью. Здесь алияние диода на погрешиость преобразоаания значительио ослаблеио применением обратной саязи.

В этой схеме положительная полуаолна измеряемого напряжения замыкается по цепи обратной связи через диод *Д2*, а отрицательная — через диод *Д1*. В результате на нагрузке диода образуется пульсирующее напряжение, постояниая состааляющая которого через фильтр поступает на выход.

Вольтметры средиеаыпрямленных значений осущесталяют процесс измерения за время 0,2—0,5 с. При измерении напряжений с малым уроаием аысших гармонических состаа-

Рис. 1.16.

Рис. 1.17.

ляющих они обеспечивают наиболее высокую точность.

Вольтметры амплитудных значений (рис. 1.18) обладают наибольшим диапазоном частот благодаря тому, что сигнал преобразуется непосредственно на входе прибора. В простейшем преобразователе амплитудное детектирование осуществляется с помощью диода *Д* и конденсатора *С*. В преобразователе с обратной связью на один детектор *Д1С1* поступает измеряемое напряжение, а на другой *Д2С2*, идентичный первому, — напряжение переменного тока обратной связи низкой (100 кГц) частоты. Напряжение, равное разности выпрямленных напряжений, через фильтр низкой частоты управляет амплитудой генератора, создающего напряжение обратной связи. Благодаря идентичности детекторов и значительному коэффициенту усиления УПТ амплитуда напряжения обратной связи равна амплитуде измеряемого напряжения. Напряжение обратной связи поступает на преобразователь средневыпрямленных значений и преобразуется в пропорциональное напряжение постоянного тока, поступающее на выход.

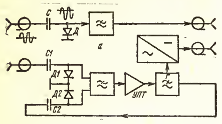


Рис. 1.18.

Недостатком вольтметров амплитудных значений является невысокая точность при измерении напряжений с большим уровнем гармонических составляющих.

Вольтметры импульсного напряжения. В этих устройствах могут применяться простейшие амплитудные детекторы, подобно приведенным на рис. 1.18, *а*. Однако лучшими характеристиками обладают приборы, работа которых основана на компенсационных методах (рис. 1.19). В качестве сравнивающих устройств используются дискриминаторы с импульсными или туннельными диодами на входе. Сравнивающее устройство выдает сигнал всегда, когда амплитуда входных импульсов меньше напряжения постоянного тока обратной связи. Этот сигнал управляет работой формирователя компенсирующего напряжения, величина которого через несколько периодов поступления входных импульсов устанавливается равной величине их амплитуды. Работа компенсирующих устройств основана на периодическом сравнении измеряемого сигнала с напряжением обратной связи, поэтому

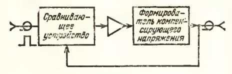


Рис. 1.19

их нельзя использовать для измерения коротких, редко повторяющихся или единичных импульсов.

В вольтметрах одиночных импульсов используются диодно-емкостные расширители импульсов, которые производят запоминание амплитуды входных импульсов и, следовательно, увеличивают их длительность. Затем методом амплитудно-временного преобразования амплитуда этих импульсов преобразуется в цифровой код, индицируемый на цифровом индикаторе.

Универсальные вольтметры. Эти приборы (рис. 1.20), кроме постоянного напряжения, позволяют измерять ток и сопротивления, для чего используется предварительное преобразование указанных величин в пропор-

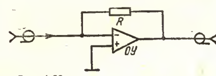


Рис. 1.20.

циональное постоянное напряжение, которое затем измеряется. В цифровых вольтметрах в качестве преобразователя ток — напряжение широко применяется операционный усилитель (ОУ). Благодаря наличию глубокой обратной связи по напряжению входное сопротивление прибора весьма мало. Пределы измерения переключаются путем коммутации резистора обратной связи R, что практически не отражается на изменении величины входного сопротивления.

Величина измеряемого сопротивления постоянному току также преобразуется в пропорциональное ему напряжение, которое затем измеряется вольтметром. В некоторых приборах измеряемое сопротивление включается в цепь обратной связи операционного усилителя. При достаточно большом коэффициенте усиления последнего его выходное напряжение пропорционально измеряемому сопротивлению:

$$U_{\text{вых}} = -(R_x/R_0)\,U_0.$$

Выбор пределов измерения осуществляется путем изменения сопротивления R_0 (рис. 1.21, *а*).

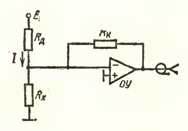


Рис. 1.21.

Операционный усилитель можно использовать и в качестве стабилизатора тока. Ток, проходящий через измеряемый резистор R_x, стабилизируется за счет включения последовательно с R_x добавочного резистора $R_д$ с большим сопротивлением (рис. 1.21, *б*). Обратная связь через $R_к$ служит для устранения зависимости тока, протекающего через измеряемый резистор R_x, от его сопротивления.

Измерители отношения напряжений постоянного тока цифровые. Эти приборы строятся на основе кодо-импульсных или время-импульсных цифровых вольтметров (рис. 1.7, 1.9). В этом случае одно из сравниваемых напряжений (U_1) подается на основной вход вольтметра, а второе (U_2) включается вместо опорного напряжения. Для расширения динамического диапазона и согласования по импедансу напряжение U_2 подается на делитель и буферный усилитель.

Аналоговые измерители отношений напряжений постоянного и переменного токов. Они представляют собой совокупность прецизионных делителей и дифференциальных вольтметров соответственно постоянного и переменного токов.

Измерители нестабильности напряжений. Они строятся на основе дифференциальных вольтметров постоянного или переменного тока (рис. 1.22) с высокостабильным источником опорного напряжения.

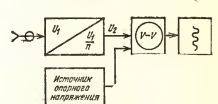


Рис. 1.22.

Установки для поверки вольтметров (калибраторы). Эти приборы (рис. 1.23, 1.24) являются высокостабильными источниками напряжений постоянного, переменного или импульсного тока с калиброванным выходом. Точность и стабильность установок обусловлена параметрами опорного источника и делителей напряжения. В качестве основного элемента опорного источника исполь-

зуются специальные кремниевые стабилитроны, заключенные в активный термостат. Для более точной поверки вольтметров предусмотрена возмож-

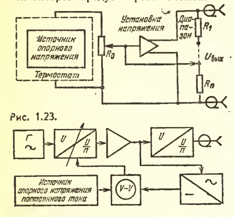


Рис. 1.23.

Рис. 1.24.

ность использования внешней меры э. д. с, например, нормального элемента. Выходное напряжение установки для поверки вольтметров (или его часть) сравнивается с напряжением опорного источника с помощью дифференциального вольтметра.

Отсчетным устройством аналоговых вольтметров является стрелочный прибор. Приборы со стрелочным отсчетом в области измерения напряжений соответствуют требованиям ГОСТ 9763-67. Они характеризуются единой конструктивной базой, обеспечивающей удобство эксплуатации, ремонта и поверки, идентичностью расположения органов управления, единым перечнем технических характеристик, которые оговариваются в техническом описании прибора, единой формой записи этих характеристик, позволяющей сравнивать приборы.

Эксплуатационная и метрологическая совместимость этих приборов определяется единством методов и средств поверки, устанавливаемых упомянутым стандартом.

Для большинства вольтметров со стрелочным отсчетом погрешность измерения приведена к значению предела измерения, на котором производится отсчет измеряемой величины. Это означает, что указанная в технических характеристиках на этот прибор погрешность относится к величине измеряемого напряжения, соответствующего выбранному пределу измерения.

Погрешность измерения напряжений другой величины будет во столько раз больше приведенной погрешности, во сколько измеряемое напряжение меньше значения выбранного предела измерения.

При выборе типа цифрового вольтметра постоянного тока нужно учитывать не только чувствительность, погрешность измерения, быстродействие, входное сопротивление, но и помехозащищенность прибора, определяемую схемно-конструктивным выполнением.

При выборе типа вольтметра переменного тока следует помнить, что наибольшим частотным диапазоном обладают вольтметры амплитудных значений, но оговоренная в технических характеристиках погрешность измерения эффективных значений напряжений может быть реализована только при гармонических сигналах с незначительным уровнем коэффициента гармоник; кроме того, эти приборы имеют наименьшую чувствительность. Меньшей погрешностью измерения в подобных условиях и более высокой чувствительностью обладают вольтметры средневыпрямленных значений. Они отличаются высокой стабильностью характеристик и имеют самую низкую стоимость.

Наибольшую точность обеспечивают вольтметры эффективных значений, но они уступают вольтметрам амплитудных значений по широкополосности и имеют значительное время измерения. Стоимость этих приборов выше стоимости вольтметров средневыпрямленных значений.

Приборы, предназначенные к эксплуатации в составе различных групп, комплексов и систем, относятся к категории «системных». В них предусмотрена конструктивная, метрологическая и эксплуатационная совместимость, которая обеспечивает возможность агрегатирования как внутри одной группы, так и с различными группами приборов в комплексы и системы.

1.2. Вольтметры постоянного тока

Микровольтметр постоянного тока В2-11

Микровольтметр (рис. 1.25) предназначен для измерения и усиления малых постоянных напряжений.



Рис. 1.25.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжений 5 мкВ — 1 В на пределах шкал 30—100—300 мкВ —1—3—10—30—100—300 мВ —1 В

Коэффициенты усиления усилителя 1; 3,333; 10,00; 33,33; 100

Пределы измерения напряжения, мкВ	Входное сопротивление, МОм
30	10
100	30
300	100
10^3—10^6	300

Относительная погрешность измерения напряжения 1—6%

Относительная погрешность коэффициента усиления 0,5% для напряжений 10 мВ — 1 В

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 5 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80 % при +20° С

Габаритные размеры

512×285×221 мм

Масса 14 кг

Прибор (рис. 1.26) представляет собой УПТ с преобразователем напряжения, охваченный глубокой от-

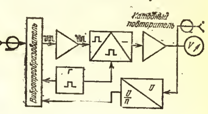


Рис. 1.26.

рицательной обратной связью. Измеряемое постоянное напряжение, подаваемое на вход прибора, преобразуется в переменное при помощи вибропреобразователя, усиливается усилителем переменного напряжения, выпрямляется синхронным детектором и подается на катодный повторитель, на выходе которого включен стрелочный прибор, показывающий результат измерения. Для питания обмоток возбуждения преобразователя и управления синхронным детектором служит генератор, выдающий сигнал в виде прямоугольных импульсов с частотой следования 42 Гц.

При измерениях на пределе 1 мВ необходимо прогревать прибор в течение 5 мин, при измерениях на меньших пределах — 30 мин. Перед началом измерений (после прогрева) следует установить стрелку прибора на нулевую отметку шкалы на пределах 30 мкВ — 3 мВ, на других пределах производить регулировку нуля не требуется. При измерении на младших (чувствительных) пределах рекомендуется устанавливать нуль прибора с подключенным исследуемым объектом, но без сигнала. В случае, когда в измеряемом объекте, кроме сигнала постоянного напряжения, присутствует переменная составляющая, целесообразно устанавливать нуль прибора при наличии переменной составляющей, но в от-

сутствие сигнала постоянного напряжения, если это возможно.

Чувствительность прибора на младших пределах высокая, поэтому при измерениях необходимо учитывать возможность возникновения дополнительных источников напряжения, например, за счет термо-эдс. Для уменьшения термо-эдс, возникающих в цепях, подключенных к прибору, следует использовать провода и детали электрических соединений из красной меди, обеспечить одинаковые температурные условия для всех частей и деталей входной цепи и исключить быстрые изменения температуры.

Микровольтметр В2-11 можно применять в качестве предварительного усилителя с коэффициентом усиления от 1 до 100 для повышения чувствительности различных измерительных приборов при измерении на постоянном токе. Кроме того, его можно использовать в качестве нуль-индикатора в составе систем для измерения постоянного напряжения методом компенсации в широком диапазоне напряжений, а также для измерения сопротивления постоянному току. В этом случае погрешность измерения будет определяться погрешностью образцовых потенциометров.

Микровольтметр постоянного тока В2-15

Микровольтметр (рис. 1.27) предназначен для измерения и усиления малых постоянных напряжений.

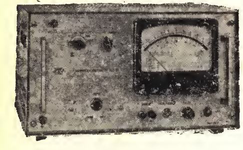


Рис. 1.27.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 0,5 мкВ — 1 В на пределах шкал 3—10—30—100—300 мкВ — 1 — 3—10—30—100—300 мВ —1 В

Коэффициенты усиления усилителя 3,33; 10,00; 33,33; 100,0; 333,3; 1000; 3333; 10000; 33333; 100000; 333333

Относительная погрешность измерения напряжения 1,5—6%

Относительная погрешность коэффициента усиления 0,5—6%

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В.

Пределы измерения напряжения, мкВ	Входное сопротивление, кОм
3	100
10	300
30—10^6	10^3

Потребляемая мощность 45 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры 410×305×248 мм

Масса 18 кг

Прибор представляет собой УПТ с преобразователем напряжения, охваченный глубокой отрицательной обратной связью (рис. 1.28). Его схема аналогична схеме микровольтметра В2-11. Прибор можно использовать в качестве предварительного усилителя с коэффициентом усиления от 1 до 333333.

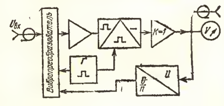


Рис. 1.28.

Микровольтметр постоянного тока В2-25

Микровольтметр (рис. 1.29) предназначен для измерения и усиления малых напряжений постоянного тока.

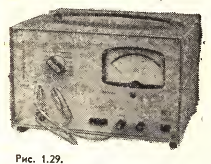


Рис. 1.29.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 0,1 мкВ — 1 В на пределах шкал 3—10—30—100—300 — 1000 мкВ — 3 — 10 — 30 — 100 — 300 — 1000 мВ

Коэффициент усиления усилителя 1—333333

Диапазон измерения напряжения, мкВ	Входное сопротивление, МОм
3—30	10—100
100—10^6	300

Время измерения не более 4 с

Относительная погрешность измерения напряжения 1—6%

Относительная погрешность коэффициента усиления 0,5—6%

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 25 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20°С

Габаритные размеры

320×530×530 мм

Масса 10 кг

Прибор представляет собой УПТ с преобразователем (рис. 1.30), и принцип его работы аналогичен принципу работы прибора В2-11. Для улучшения технических характеристик усилитель охвачен последовательной отрицательной обратной связью. Для уменьшения влияния на точность измерения переменной составляющей частоты 50 Гц, обычно присутствующей во входном сигнале, служит входной интегрирующий фильтр.

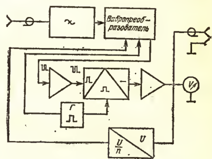


Рис. 1.30.

Переключение пределов измерения осуществляется делителем в цепи обратной связи, собранным на прецизионных постоянных резисторах, т. е. путем изменения коэффициента усиления усилителя.

При отклонении температуры окружающей среды в пределах рабочего диапазона появляется дополнительная погрешность измерения, не превышающая половины значения основной погрешности на каждые 10° С. Дополнительная погрешность, обусловленная изменением напряжения питания на ±10% от номинального, также не превышает половины основной погрешности.

Дрейф нуля за 1 ч без коррекции не превышает удвоенного значения основной погрешности на пределах от 3 мкВ до 100 мкВ, на остальных пределах дрейф нуля не влияет на погрешность измерения.

Дополнительная погрешность, обусловленная собственными шумами прибора, не превышает половины основной погрешности на пределах

3—10 мкВ, на других пределах собственные шумы значительно меньше входного сигнала и не дают вклада в погрешность измерения. Прибор в течение 1 мин выдерживает воздействие напряжения перегрузки на входе, превышающего предел измерения в пять раз, не изменяя своих технических параметров, а также позволяет измерять постоянные напряжения с содержанием во входном сигнале синусоидальной составляющей частотой 50 Гц, превышающей значение входного сигнала в 30 раз.

Кроме своего основного назначения, прибор можно использовать в качестве предварительного усилителя малых напряжений постоянного тока с коэффициентом усиления от 1 до 333 333. В этом случае выходное напряжение снимается со специальных клемм. Вольтметр В2-25 по техническим характеристикам заменяет приборы В2-11, В2-15.

Вольтметр постоянного тока цифровой дифференциальный В2-27

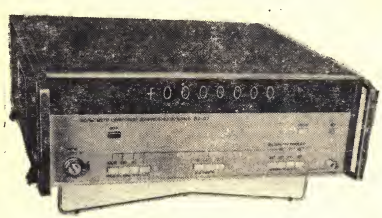


Рис. 1.31.

Вольтметр (рис. 1.31) предназначен для измерения постоянных напряжений или приращений постоянного напряжения в лабораторных, цеховых или полевых условиях.

Основные технические характеристики

Диапазон измеряемых напряжений 1 мкВ — 1000 В на пределах 1—10—100 — 1000 В с дискретностью $U_к/S_0$, где S_0 — установленная чувствительность 10^3—10^4—10^5—10^6

Разрешающая способность $5 \cdot 10^6\ U_к$ ($U_к$ — предел измерения)

Входное сопротивление:

10 МОм на пределах 1 и 1000 В;

0,1—1 МОм на пределах 10—100 В

Напряжение аналогового выхода ± 1 В

Пределы измеряемых напряжений, В	Погрешность измерения, %
1—10—100	$\pm (0{,}02+0{,}01\ U_к/U_x)$
1000	$\pm (0{,}02+0{,}02\ U_к/U_x)$

Погрешность напряжения на аналоговом выходе $(0{,}02N_x+5) \cdot 10^{-3}$ В, где N_x — число, индицируемое тремя младшими разрядами прибора

Время измерения 2—10 с

Подавление помех частотой 50 Гц последовательного вида не менее 40 дБ

Подавление помех параллельного вида не менее 60 дБ

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0{,}5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

S_0	Предел ΔU	Диапазон измерения приращения, В	Разрешающая способность	Погрешность измерения приращений напряжения, В
10^6	$10^{-3} U_к$	$\pm 0{,}8 \cdot 10^{-3} U_к$	$5 \cdot 10^{-6} U_к$	$\pm (15 \cdot 10^{-3} \Delta U_x + 5 \cdot 10^{-6} U_к)$
10^5	$10^{-2} U_к$	$\pm 10^{-2} U_к$	$10^{-5} U_к$	$\pm (5 \cdot 10^{-3} \Delta U_x + 2 \cdot 10^{-5} U_к)$
10^4	$10^{-1} U_к$	$\pm 10^{-1} U_к$	$10^{-4} U_к$	$\pm (5 \cdot 10^{-3} \Delta U_x + 2 \cdot 10^{-4} U_к)$

Потребляемая мощность не более 150 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5°$ С до $+40°$ С, относительная влажность до 95% при $+30°$ С

Габаритные размеры
490×175×475 мм

Масса 25 кг

преобразование информации, индикацию ее и выход на аналоговую регистрацию.

Измерение напряжений производится в два этапа. На первом (положение *1* переключателя *К2*) компенсирующее напряжение равно нулю, а коэффициент передачи усилителя —

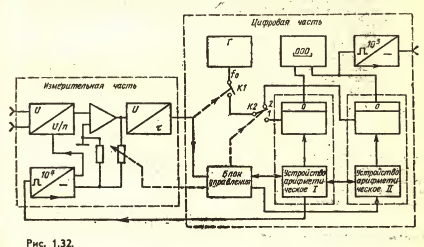


Рис. 1.32.

Принцип действия прибора основан на классическом время-импульсном преобразовании с потенциометрической обратной связью (рис. 1.32). Измерительная часть прибора включает входной делитель напряжения, цифроаналоговый преобразователь и усилитель разностного напряжения. Преобразователь напряжение — время формирует временной интервал, пропорциональный напряжению на входе усилителя, и одновременно сигнал полярности напряжения. Цифровая часть прибора обеспечивает единице. Импульсы генератора стабильной частоты f_0 через ключи *К1* и *К2* в течение времени t_1 поступают на вход счетчика старших разрядов арифметического устройства I и индицируются соответственно лампами старших разрядов. Блок управления воспринимает и передает индикаторному блоку информацию о полярности измеряемого напряжения от преобразователя напряжение — время и информацию о переполнении счетчика старших разрядов. На этом этапе прибор работает как цифровой

вольтметр прямого преобразования (время-импульсного) с частотой 50 изм/с.

На втором этапе информация записывается в младшие разряды индикаторного блока. Переключатель *К2* переводится в положение *2*, а из блока управления поступает разовая команда на арифметическое устройство *I*, по которой информация, зафиксированная в счетчике старших разрядов, заносится в устройство памяти. Отсюда информация вводится в цифроаналоговый преобразователь измерительной части прибора, выходное напряжение которого используется для компенсации измеряемого напряжения. После компенсации из блока управления поступает разрешение на увеличение коэффициента усиления усилителя. Усиленное разностное напряжение (сигнал ошибки) преобразуется в интервал времени t_2. Импульсы генератора частоты f_0 поступают теперь через переключатели *К1* и *К2* на вход счетчика младших разрядов. Емкость этого счетчика меняется в зависимости от положения переключателя «Чувствительность».

Информация о знаке сигнала и ошибке с преобразователя напряжение — время поступает в блок управления, который определяет вид операций, выполняемых арифметическими устройствами *I* и *II* (сложение или вычитание). После этого величина и знак измеряемого напряжения индицируются индикаторными лампами.

Режим измерения приращений напряжения отличается от описанного только процессом получения индицируемого результата, а именно, первоначальный сигнал ошибки из счетчика младших разрядов переносится в блок памяти арифметического устройства *II* и затем вычитается из каждого последующего результата измерения разностного напряжения. Для индикации поступает информация только из арифметическое устройство *II*, а в старших разрядах индицируются нули. Индикация приращений начинается с момента индикации нулей во всех разрядах (с момента автобалансировки).

Прибор позволяет регистрировать приращения напряжений внешним самописцем (аналоговым прибором), информация на который поступает с цифроаналогового преобразователя цифровой части.

Преобразование напряжения в интервал времени производится методом следящего уравновешивания этого напряжения линейно-изменяющимся компенсирующим напряжением. Подавление помех последовательного вида обеспечивается встроенным фильтром, который включается кнопкой на передней панели. При малом уровне наложенных помех можно работать без фильтра, при этом уменьшается время установления показаний.

Прибор выдает на внешнее регистрирующее устройство информацию о знаке, мантиссе измеряемого напряжения и о режиме работы в двоично-десятичном коде 8—4—2—1.

Дифференциальный вольтметр В2-27 можно также использовать для измерения нестабильности источников напряжений.

1.3. Вольтметры переменного тока

Вольтметры переменного тока по своему функциональному назначению можно разделить на следующие подгруппы: на измеряющие среднеквадратические значения напряжений (В3-28А, В3-40, В3-41, В3-45, В3-46, В3-48); на измеряющие средневыпрямленные значения напряжений (В3-28А, В3-38, В3-39, В3-41, В3-44) и на измеряющие амплитудные значения напряжений (В3-24, В3-28А, В3-36, В3-43).

Для измерения средневыпрямленных значений напряжения можно использовать также вольтметры В9-1, ВК7-10А/1, В7-22, В7-16, В7-20, а для измерения амплитудных значений напряжений можно использовать приборы В4-11, В4-12, В4-13, В4-14, И4-5, В7-13, В7-15, В7-17. Вольтметры В3-36, В3-41, В3-42, В3-46, В3-48 предназначены для работы в жестких условиях эксплуатации.

Вольтметр компенсационный В3-24

Вольтметр (рис. 1.33) предназиачеи для точных измерений среднеквадратических значений гармоническнх напряжений.

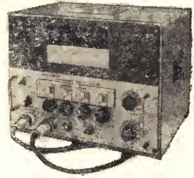


Рис. 1.33.

Основиые технические характеристики

Диапазои измереиня напряжеиия 20 мВ — 100 В на пределах шкал 100 мВ; 0,1—1 В; 1—10 В; 10—100 В
Диапазон частот 20 Гц — 1000 МГц

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %	
	прн условни введения поправок к частотной погрешности аттестованных измерительных диодов	прн условни введения усредненных поправок к частотной погрешности неаттестованных измерительных диодов
$20\cdot10^{-6}$—10	±0,2+*B*	±0,2+*B*
10— 100	±0,8+*B*	±1,0+*B*
100— 200	±1,0+*B*	±1,5+*B*
200— 300	±1,5+*B*	±2,5+*B*
300— 500	±2,5+*B*	±4,0+*B*
500— 700	±3,0+*B*	±6,0+*B*
700— 900	±3,7+*B*	±10,0+*B*
900—1000	±4,0+*B*	±12,8+*B*

Здесь $B=0{,}08/U_{вх}$ [В].

Диапазон частот, МГц	Погрешность при относительном измерении одного и того же уровня напряжения, % не болев
$20\cdot10^{-6}$—1	±0,05+*B*
1—10	±0,15+*B*

Входиое сопротнвление 80 кОм на частоте 200 МГц
Входная емкость 1,5 пФ
Питание от сети перемеиного тока частотой 50±0,5 Гц, иапряженнем 220±22 В
Потребляемая мощность 70 ВА
Условия эксплуатацнн: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% прн +20° С
Габаритные размеры
512×404×398 *мм*
Масса не более 30 кг

По принципу действия прибор, структуриая схема которого приведена на рис. 1.34, является вольтметром

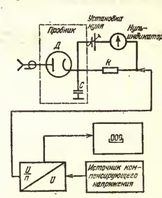


Рис. 1.34.

амплитудных значений компенсационного типа. Цифровое отсчетное табло его проградуироваио в средиеквадратическнх значениях гармонического иапряжения. В качестве элемента, на котором осуществляется

сравиение нзмеряемого напряжения с компенснрующнм, прнменеи днод с емкостной нагрузкой, заключениый в высокочастотный пробник. Благодаря этому вольтметр обладает шнрокнм диапазоиом частот, малой входной емкостью, высокой точностью нзмерення, высококачественным согласованием входа с источником сигнала во всем диапазоне частот. Последнее обеспечивается тройннковым соедиинтелем с нагрузкой, имеющим малый коэффициент отражения (1; 2; 5% на частотах 100, 200, 300 МГц соответствеино).

Набор соедннителей, входящнх в комплект вольтметра, позволяет включать его в различные тракты параллельно с испытуемыми приборами.

Прибор В3-24 является наиболее точным высокочастотным вольтметром переменного тока. Он незаменнм для поверочных и контрольных лабораторнй, отделов технического контроля, где может прнменяться для поверкн н градуировки вольтметров, генераторов стандартных сигналов и для точного измерения амплитудно-частотных характеристнк четырехполюсннков.

Милливольтметр В3-28А

Прибор (рнс. 1.35) предназиачен для измерения средневыпрямленных, среднеквадратнческих н амплнтудных

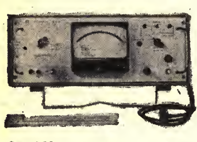


Рис. 1.35.

значений напряжений переменного тока как гармоннческой, так н искаженной формы сигнала.

Основные технические характеристики

Диапазон нзмерення входного напряжения 0,3 мВ — 200 В на пределах шкал 1—2—5—10—20—50—100—200—500 мВ —1—2—5—10—20—50—100—200 В

Коэффициент амплитуды напряжения 10

Входное сопротивление более 0,5 МОм

Коэффицнент усреднения 20

Диапазон частот 20 Гц — 1 МГц

Диапазон частот, кГц	Погрешность измерения напряжения, %	
	Среднее и действующее значение	Амплитудное значение
0,02—0,04	±6	±10
0,04—25	±4	±6
25—1000	±6	±10

Входная емкость:

40 пФ на пределах 1—500 мВ;

20 пФ на пределах 1—200 В.

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 145 ВА

Условия эксплуатацни: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% прн +20° С

Габарнтные размеры

500×217×300 мм

Масса 18 кг

В милливольтметре (рис. 1.36) применены днодные детекторы средневыпрямленного, амплитудного н среднеквадратического значений переменного напряжения. В нем имеется внутренний источннк калибровочного напряжения прямоугольной формы, использование которого повышает точность измерения.

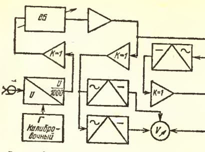


Рис. 1.36.

Прибор незаменим при исследовании магнитных материалов, полупроводниковых приборов и устройств, а также при анализе шумовых сигналов, включая импульсные сигналы. Он является единственной универсальной моделью, обеспечивающей измерение среднеквадратического и средневыпрямленного значений напряжений, даже в том случае, если амплитуда сигнала превышает эти значения в 10—20 раз.

Милливольтметр В3-36

Милливольтметр (рис. 1.37) предназначен для измерения переменных напряжений высокой частоты.

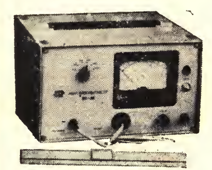


Рис. 1.37.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 3мВ — 300 В на пределах шкал 10—30—100—300—1000—3000 мВ, с делителем 1 : 100 на пределах 1—3—10—30—100—300 В

Диапазон частот, МГц	Пределы измерения напряжения, В
$10 \cdot 10^{-3}$—1000	$3 \cdot 10^{-3}$—3
$10 \cdot 10^{-3}$—30	3—300 с внешним делителем

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения $U_к$=10—3000 мВ
$10 \cdot 10^{-3}$—30	±4*
30—100	±6
100—300	±10
300—600	±15
600—1000	±25

* На пределах 10 мВ и 3—300 В погрешность ±6%.

Входное сопротивление более 20 кОм при частотах до 200 МГц

Входная емкость менее 1,5 пФ

КСВ при использовании 75-омного тройникового перехода не более 1,3 в диапазоне частот до 1000 МГц

Питание от сети переменного тока частотой 50 ± 0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 45 ВА

Условия эксплуатации: температура от —30 до +50° С, относительная влажность до 95% при+30° С

Габаритные размеры 330×210×340 мм

Масса 11 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.38) является милливольтметром амплитудных значений напряжений переменного тока. Шкала отсчетного уст-

ройства проградуироваиа в эффективных значениях гармоиического напряжения. Входиое устройство представляет собой выиосиой пробиик с малой входиой емкостью, что позволяет использовать прибор для измерения в цепях сигиалов высокой частоты как в режиме несогласоваииого входа, так и в режиме согласования в коаксиальных трактах. В последием случае пробник прибора включается в разрыв лииии передачи через тройииковый переход, придаваемый к прибору. С помощью делителя напряжеиия, который можно подсоединять к пробнику, обеспечивается расширение диапазоиа измеряемых иапряжений до 300 В иа частотах до 30 МГц.

Милливольтметр В3-36 обладает наиболее широкой полосой пропускания, что делает его незаменимым при лабораторных исследованиях и испытаииях широкополосных усилителей, генераторов сигналов, СВЧ детекторов, операционных усилителей. С помощью прибора В3-36 легко измеряются амплитудно-частотные характеристики четырехполюсников.

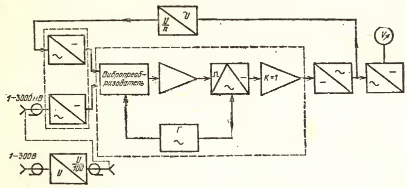


Рис. 1.38.

Милливольтметр В3-38

Милливольтметр (рис. 1.39) предназначен для измерения напряжений переменного тока.

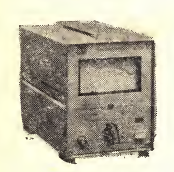


Рис. 1.39.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 0,1 мВ — 300 В иа пределах шкал 1—3—10—30—100—300 мВ —1—3—10—30—100—300 В

Диапазон частот 20 Гц — 5 МГц

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения	
	1—300 мВ	1—300 В
$(20—45)\cdot 10^{-6}$	±4	±4
$45\cdot 10^{-6}$—1	±2,5	±4
1—3	±4	±6
3—5	±6	±6

Входное сопротивление более 4 МОм

Входная емкость:

30 пФ на пределах 1—300 мВ,

15 пФ на пределах 1—300 В

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 10 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

152×206×300 мм

Масса 5 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.40) является милливольтметром средневыпрямленных значений напряжений переменного тока. В качестве детектирующего устройства в нем использован диодный детектор, охваченный общей обратной связью с широкополосным усилителем, что обеспечивает прибору простую конструкцию и высокую надежность.

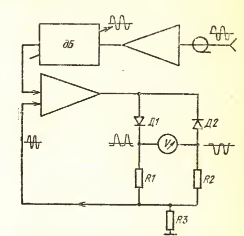


Рис. 1.40.

Милливольтметр В3-39

Милливольтметр (рис. 1.41) предназначен для измерения напряжений переменного тока и для преобразования этих напряжений в пропорциональное напряжение постоянного тока.

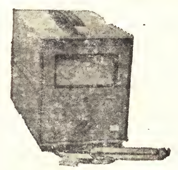


Рис. 1.41.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 0,3 мВ — 300 В на пределах шкал 1—3—10—30—100—300 мВ —1—3—10—30—100—300 В

Диапазон частот, МГц	Пределы измерения напряжения, мВ
$20\cdot10^{-6}$—10	3—$3\cdot10^{5}$
$20\cdot10^{-6}$—5	1—$3\cdot10^{5}$

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения $U_{н}$		
	1 мВ	3 мВ—1 В	3—300 В
$(20—30)\cdot10^{-6}$	±10	±6	±10
$(30—45)\cdot10^{-6}$	±6	±4	±6
$5\cdot10^{-6}$—1	±4	±2,5	±4
1—3	±6	±4	±6
3—5	±10	±4	±6
5—10	—	±6	±10

Величина напряжения постоянного тока на аналоговом выходе, соответствующая полной шкале, 1В

Погрешность выходного напряжения соответствует погрешности измерения

Входное сопротивление более 4 МОм

Входная емкость:

35 пФ на пределах 1 мВ—1 В,
15 пФ на пределах 3—300 В

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность воздуха до 80% при +20° С.

Габаритные размеры

152×206×300 мм

Масса 5 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.42) является милливольтметром средневыпрямленных значений. Шкала отсчетного устройства проградуирована в среднеквадратических значениях гармонического напряжения.

Наличие линейного выхода напряжения постоянного тока позволяет

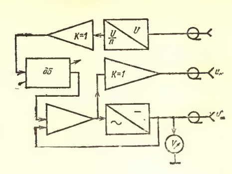


Рис. 1.42.

использовать прибор в системах управления процессами. Его можно также использовать в качестве широкополосного чувствительного усилителя с коэффициентом усиления 50, для чего предусмотрен специальный выход.

Микровольтметр В3-40

Микровольтметр (рис. 1.43) предназначен для измерения среднеквадратических значений напряжений переменного тока произвольной формы

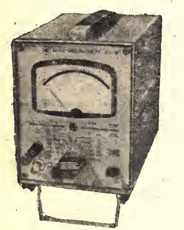


Рис. 1.43.

и для преобразования среднеквадратических значений этих напряжений в пропорциональное напряжение постоянного тока. Он имеет высокую чувствительность (1 мкВ) и малую погрешность измерения (до 1,5%).

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 10 мкВ — 300 В на пределах шкал 0,03 — 0,1—0,3—1—3—10—30—100 — 300 мВ —1—3—10—30—100—300 В

Диапазон частот 5 Гц — 5 МГц

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения $U_к$			
	1—300 мВ	0,1; 0,3 мВ	1—300 В	0,03 мВ
$(5-10)\cdot10^{-6}$	±10	±10	±10	±15
$(10-20)\cdot10^{-6}$	±6	±6	±6	±10
$(20-30)\cdot10^{-6}$	±4	±4	±4	±6
$(30-45)\cdot10^{-6}$	±2,5	±4	±4	±6
$45\cdot10^{-6}-1$	±1,5	±2,5	±2,5	±4
1—3	±2,5	±4	±4	±6
3—5	±4	±6	±6,0	±10

Максимальное значение коэффициента амплитуды $6U_к/U$

Входное сопротивление более 4 МОм

Входная емкость:

30 пФ на пределах 0,03—300 мВ
15 пФ на пределах 1—300 В

Величина напряжения постоянного тока на выходе 100 мВ

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры
152×206×300 мм

Масса 7 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.44) является микровольтметром среднеквадратического значения напряжений переменного тока. Использование в приборе детектора среднеквадратических значений, построенного на основе термопреобразователей, в сочетании с малошумящим широкополосным усилителем позволяет применять прибор для измерения напряжения слабых сигналов самой разнообразной формы, включая импульсные и шумовые сигналы. Это особенно важно при исследовании магнитных материалов, измерении напряжений шумов полупроводниковых элементов и устройств и т. п.

Рис. 1.44.

Микровольтметр В3-40 является наиболее точным среди аналогичных стрелочных приборов. Наличие линейного выхода постоянного тока позволяет использовать его для управления процессами.

Милливольтметр В3-41

Милливольтметр (рис. 1.45) предназначен для измерения напряжений переменного тока и для преобразования этих напряжений в пропорциональное им напряжение постоянного тока

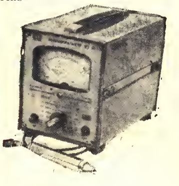


Рис. 1.45.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 0,3 мВ — 300 В на пределах шкал 3—10 — 30 — 100—300 мВ —1—3—10—30—100—300 В

Диапазон частот 20 Гц — 10 МГц

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения	
	3 мВ—1 В	3—300 В
$(20—30)\cdot10^{-6}$	±6	±10
$(30—45)\cdot10^{-6}$	±4	±6
$45\cdot10^{-6}—1$	±2,5	±4
1—5	±4	±6
5—10	±6	±10

Величииа напряжеиня постоянного тока на аналсговом выходе 1 В
Выходное сопротнвление 1 кОм
Погрешность выходного напряжения соответствует погрешностн измерения
Напряжеиие иа выходе широкополосного усннтеля 150 мВ
Выходное сопротнвлеине 50 Ом
Входное сопротивление более 5 МОм
Входная емкость:
35 пФ иа пределах 3 мВ—1 В;
15 пФ иа пределах 3—300 В
Питанне от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220±11 В
Потребляемая мощность 15 ВА
Условия эксплуатации: температура от —30 до +50° С, относнтельная влажиость до 98% при +40° С
Габаритные размеры
169×206×328 мм
Масса 6 кг

По прннципу действия прибор (рис. 1.46) является милливольтметром средневыпрямленных значений. Шкала отсчетного устройства проградуироваиа в среднеквадратнческих значениях гармоиического напряжения. Прибор можио использовать в качестве широкополосного чувствительного усилителя с коэффициентом усилеиня 50, для чего в нем предусмотрен специальиый выход.

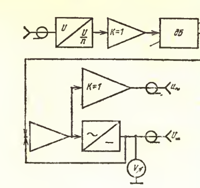
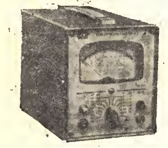


Рис. 1.46.

Милливольтметр В3-42

Мнлливольтметр (рнс. 1.47) предназначен для измерення среднеквадратнческих значений напряженнй переменного тока малого уровня произвольной формы.


Рис. 1.47.

Основные технические характеристики

Диапазои измерения напряжения 30 мкВ — 300 В иа пределах шкал 0,1 — 0,3 — 1 — 3 — 10 — 30 — 100 — 300 мВ — 1 — 3—10—30—100—300 В

Диапазон частот, МГц	Пределы измерения напряжения, мВ
$10\cdot10^{-6}$—5	1—$3\cdot10^5$
$10\cdot10^{-6}$—1	0,1—$3\cdot10^5$

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения $U_к$			
	0,1 мВ	0,3 мВ	1 мВ и 1—300 В	3—300 мВ
$(10—20)\cdot10^{-6}$	±15	±10	±10	±6
$(20—45)\cdot10^{-6}$	±10	±10	±6	±4
$(45—10^5)\cdot10^{-6}$	±6	±6	±4	±2,5
$100\cdot10^{-3}$—1	±10	±6	±4	±2.5
1—3	—	—	±6	±4
3—5	—	—	±10	±6

Максимальное значение коэффициента амплитуды напряжений $4U_к/U$

Пределы измерения, В	Входное сопротивление, МОм	Входная емкость, пФ
$(0,1—300)\cdot 10^{-3}$ 1—300	2,5 5	30 15

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220±11 В

Потребляемая мощность 20 ВА

Условия эксплуатации: температура от —30 до +50° С, относительная влажность до 98% при +40° С

Габаритные размеры

170×210×235 мм

Масса 6 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.48) является милливольтметром среднеквадратических значений. Он позволяет измерять сигналы ма-

Милливольтметр В3-43

Милливольтметр (рис. 1.49) предназначен для измерения переменных напряжений высокой частоты.



Рис. 1.49.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 3 мВ — 300 В на пределах шкал 10—30—100—300—1000—3000 мВ, с делителем 1 : 100 на пределах 10—30—100—300 В

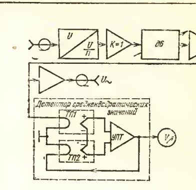


Рис. 1.48.

лого уровня произвольной формы, включая импульсные и шумовые сигналы, что представляет особый интерес при исследовании магнитных и полупроводниковых материалов и т. п.

Наличие специального выхода позволяет использовать прибор в качестве высокочувствительного широкополосного усилителя.

Диапазон частот, МГц	Пределы измерения напряжения, В
$10\cdot 10^{-3}$—1000 $10\cdot 10^{-2}$—300	$3\cdot 10^{-3}$—3 10—300 с внешним делителем

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения $U_к$		
	10 мВ	30—3000 мВ	10—300 В
$(10—60)\cdot 10^{-3}$	±10	±6	—
$(50—100)\cdot 10^{-3}$	±6	±4	—
$100\cdot 10^{-3}$—30	±6	±4	±6
30—100	±10	±6	±10
100—200	±10	±10	±15
200—300	±10	±10	±25
300—600	±16	±15	—
600—1000	±25	±25	—

На аналоговом выходе величина напряжения постоянного тока 10 В, величина напряжения переменного (100 кГц) тока 5 В

Входное сопротивление на частотах до 200 МГц более 10 кОм

Входная емкость 1,5 пФ, с делителем 2,5 пФ

КСВ при использовании 50- и 75-омных тройниковых переходов не более 1,2

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

входной емкостью, что позволяет использовать прибор для измерения в цепях сигналов высокой частоты как в режиме несогласованного входа, так и в режиме согласования в 50- и 75-омных коаксиальных трактах. В последнем случае пробник прибора включается в разрыв линии передачи через тройниковый переход. С помощью делителя напряжения, который можно подключать к пробнику, обеспечивается расширение диапазона измеряемых напряжений до 300 В при частотах до 300 МГц.

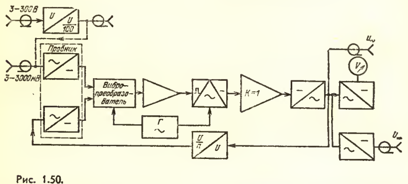


Рис. 1.50.

Потребляемая мощность 45 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

330×210×240 мм

Масса 11 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.50) является милливольтметром амплитудных значений напряжения переменного тока. Шкала отсчетного устройства проградуирована в среднеквадратических значениях напряжения синусоидальной формы и в децибелах по отношению к 1 мВ на нагрузке 50 Ом. Входное устройство прибора выполнено в виде выносного высокочастотного пробника с малой

Для расширения функциональных возможностей использования прибора в нем предусмотрены аналоговые выходы постоянного и переменного токов. Величина напряжения на этих выходах линейно зависит от амплитуды входного сигнала.

Прибор В3-43 обладает широким диапазоном рабочих частот. Сочетание широкой полосы пропускания с наличием низкочастотных аналоговых выходов позволяет широко использовать прибор в автоматизированных измерительных системах управления процессами. Прибор незаменим при лабораторных исследованиях и испытаниях широкополосных усилителей и генераторов, СВЧ детекторов, операционных усилителей и т. п.

Вольтметр переменного тока В3-44

Малогабаритный переносной прибор (рис. 1.51) предназначен для измерения напряжений переменного гармонического тока.

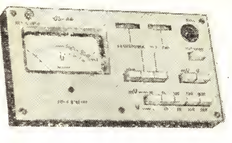


Рис. 1.51.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 3 мВ — 300 В на пределах шкал 10—30—100—300—1000 мВ —3—10—30—100—300 В

Диапазон частот 20 Гц — 20 кГц

источника питания при измерении, 65 мА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры
237×132×104 мм

Масса 2,5 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.52) является вольтметром средневыпрямленных значений напряжений переменного тока, шкалы которого проградуированы в среднеквадратических значениях гармонического напряжения.

Погрешность прибора оговорена для гармонических сигналов. При сигналах с коэффициентом нелинейных искажений до 5% погрешность увеличивается на ±2,5%. Прибор имеет исключительно малое время са-

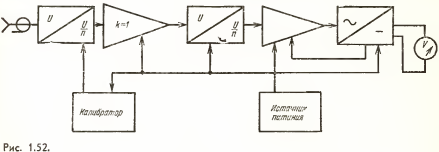


Рис. 1.52.

Погрешность измерения ±2,5% на частотах 20 Гц — 20 кГц

Входное сопротивление 20 кОм± ±20%

Входная емкость менее 60 пФ

Питание: напряжение постоянного тока 2,2—3,1 В от двух элементов типа «Марс». Ток, потребляемый от

мопрогрева (1 мин), небольшие габаритные размеры и массу.

Он применяется для настройки и проверки радиоприемных устройств, настройки усилителей низкой частоты широковещательной и телевизионной аппаратуры.

Милливольтметр переменного тока В3-45

Милливольтметр (рис. 1.53) предназначен для измерения среднеквадратического значения напряжения произвольной формы и для преобразования среднеквадратического значения напряжения произвольной формы в пропорциональное напряжение постоянного тока.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 0,3 мВ — 300 В на пределах шкал 1—3—10—30—100—300 мВ, с внешним делителем 1 : 1000 на пределах 1—3—10—30—100—300 В

Диапазон частот 20 Гц — 50 МГц

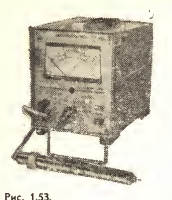


Рис. 1.53.

Максимальное значение коэффициента амплитуды $4U_к/U$

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения $U_к$		
	1 мВ	3—300 мВ	1—300 В (с внешним делителем)
$(20-45)\cdot 10^{-6}$	±4	±4	±4
$45\cdot 10^{-6}-5$	±2,5	±2,5	±2,5
5—10	±4	±2,5	±4
10—30	±6	±4	±6
30—50	±10	±6	±10

Величина напряжения постоянного тока на аналоговом выходе 1 В

Погрешность выходиого напряжения постоянного тока соответствует погрешиости измерения

Входное сопротивление 30 МОм, с внешним делителем 3 МОм

Входная емкость 6 пФ, с делителем 4 пФ

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 25 ВА

Условия эксплуатации: температуро от +10 до +35° С; относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

152×205×300 мм

Масса 5 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.54) является милливольтметром среднеквадратических значений напряжения переменного тока. Входное устройство выполнено в виде выносного пробника с высоким входным импедансом. Это позволяет производить измерения в цепях высокой и низкой частоты, практически не шунтируя их.

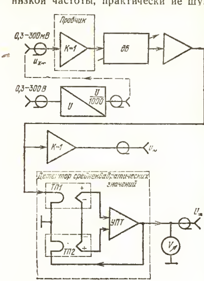


Рис. 1.54.

Выносной делитель, расширяющий пределы измерения, выполнен в виде высокочастотной насадки к пробнику. Использование в приборе детектора среднеквадратических значений, построенного на основе термопреобразователей, позволяет применять его для измерения напряжений не только гармонической, но и самой разнообразной формы, включая импульсные и шумовые сигналы.

Высокая точность измерения напряжений любой формы в сочетании с наличием линейного выхода постоянного тока обеспечивает широкие возможности использования прибора в автоматизированных системах управления производственными процессами.

Наличие выхода широкополосного усилителя позволяет использовать прибор как широкополосный усилитель с высокой чувствительностью и не только измерять среднеквадратическое значение сигнала, но одновременно и анализировать его форму на внешнем осциллографе.

Милливольтметр переменного тока В3-46

Миллнвольтметр (рис. 1.55) предназначен для измерення среднеквадратнческого значения переменного напряжения н преобразования в пропорциональное ему напряженне постоянного тока.



Рис. 1.55.

Основные технические характерncтики

Днапазон нзмерения напряжения: 0,3 мВ — 300 В на пределах шкал 1—3—10—30—100—300 мВ, с внешним делителем 1 : 1000 на пределах 1—3—10—30—100—300 В, 3 мВ — 3 В на пределах шкзл 10—30—100—300 мВ — 1—3 В

Днапазон частот 20 Гц — 20 МГц

Максимальное значение коэффнцнента амплнтуды $5U_к/U$

Величина напряжения постоянного тока на аналоговом выходе 1 В

Днапазон частот, МГц	Погрешность нзмерення напряжения, %, на пределах нзмерения $U_к$	
	1 мВ—300 В	10 мВ—3 В (с внешним делнтелем 1:10)
$(20—30)\cdot 10^{-6}$	±4	±6
$(30—45)\cdot 10^{-6}$	±2,5	±4
$45\cdot 10^{-6}$—1	±1,5	±2,5
1—5	±2,5	±4
5—10	±4	±6
10—20	±6	±10

Погрешность выходного напряжения соответствует погрешности измерения

Входное сопротивленне более 1 МОм; прн нспользовании внешнего делнтеля более 4 МОм

Входная емкость 25±3 пФ на пределах до 300 мВ включительно н менее 15 пФ на остальных пределах и прн нспользованнн внешнего делнтеля

Питание от сетн переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряженнем 220±22 В

Потребляемая мощность 15 ВА

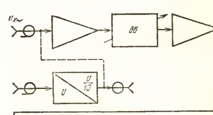
Условня эксплуатации: температура от —10 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габарнтные размеры

168×206×328 мм

Масса 6 кг

По прннципу действня прнбор (рнс. 1.56) является мнллнвольтметром среднеквадратических значенні



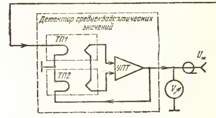


Рис. 1.56.

напряжения переменного тока. Использование в прнборе детектора среднеквадратнческнх значенні, построенного на основе термопреобразователей, позволяет прнменять его для измерення среднеквадратнческнх значенні сигналов не только гармо-

нической, но и самой разнообразной формы, включая импульсные и шумовые напряжения.

Прилагаемый к прибору внешний делитель выполнен в виде пробника с малой емкостью, что уменьшает влияние прибора на измеряемую цепь при измерении высокочастотных сигналов.

Прибор представляет особый интерес при исследовании магнитных материалов, измерении напряжения шумов полупроводниковых элементов и устройств. Наличие линейного выхода постоянного тока позволяет использовать его в системах управления процессами контроля выпуска продукции.

Милливольтметр В3-48

Милливольтметр (рис. 1.57) предназначен для измерения среднеквадратического значения напряжения произвольной формы и для преобразо-

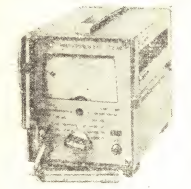


Рис. 1.57.

вания среднеквадратического значения напряжения произвольной формы в пропорциональное напряжение постоянного тока.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 0,3 мВ—300 В на пределах шкал 1—3—10—30—100—300 мВ, с внешним делителем 1 : 1000 на пределах 1—3—10—30—100—300 В

Диапазон частот 20 Гц—50 МГц

Максимальное значение коэффициента амплитуды $4U_к/U$

Величина напряжения постоянного тока на аналоговом выходе 1 В

Выходное сопротивление 1кОм±10%

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения, %, на пределах измерения $U_к$		
	1 мВ	3—300 мВ	1—300 В
$(10-20)\cdot 10^{-6}$	±10	±6	±10
$(20-30)\cdot 10^{-6}$	±6	±4	±6
$(30-45)\cdot 10^{-6}$	±4	±4	±4
$45\cdot 10^{-6}-5$	±2,5	±2,5	±2,5
5—10	±4	±2,5	±4
10—30	±6	±2,5	±6
30—50	±10	±6	±10

Погрешность выходного напряжения постоянного тока соответствует погрешности измерения

Пределы измерения В	Входное сопротивление, МОм	Входная емкость, пФ
$(1-300)\cdot 10^{-3}$	20	8
1—300 (с делителем)	3±10%	4

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220±11 В

Потребляемая мощность 25 ВА

Условия эксплуатации: температуро от —10 до +40° С; относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры

168×206×328 мм

Масса 6 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.58) является милливольтметром среднеквадратических значений

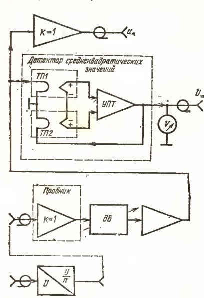


Рис. 1.58.

напряжений переменного тока. Входное устройство представляет собой выносной пробник с высоким входным импедансом, что позволяет производить измерения в цепях высокой и низкой частоты, не шунтируя их. Выносной делитель, расширяющий пределы измерения, выполнен в виде высокочастотной насадки к пробнику. Детектор среднеквадратических значений, построенный на основе термопреобразователей, позволяет измерять прибором напряжения самой разнообразной формы, включая импульсные и шумовые сигналы.

Конструктивно-технологические особенности построения прибора позволяют использовать его в жестких условиях эксплуатации. Прибор незаменим при исследовании магнитных материалов, измерении шумовых характеристик полупроводниковых приборов и устройств. Высокая точность измерений напряжений самого разнообразного спектрального состава в сочетании с наличием линейного выхода постоянного тока обеспечивает широкие возможности применения прибора в автоматизированных системах управления процессами контроля выпуска продукции

Прибор можно использовать как высокочувствительный широкополосный усилитель, что позволяет не только измерять среднеквадратическое значение сигнала, но и одновременно анализировать его форму на внешнем осциллографе.

1.4. Вольтметры импульсного тока

Вольтметр компенсационный В4-11

Вольтметр (рис. 1.59) предназначен для измерения амплитудных значений импульсных, импульсно-модулированных напряжений, а также напряжений переменного тока гармонической формы и напряжений постоянного тока.

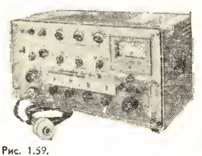


Рис. 1.59.

Основные технические характеристики

Измерение видеоимпульсов положительной полярности в зависимости от скважности

Диапазон измерения напряжения, В	Скважность импульсов
1—150	$<10^3$
1,4—150	$<10^4$
1,8—150	$\leqslant 10^5$
2—150	$\leqslant 10^6$

Пределы измерения напряжения 15 и 150 В

Длительность импульсов 10 нс — 25 мс

Скважность импульсов 2—10^6

Частота повторения импульсов более 20 Гц

Скважность импульсов	Относительная погрешность измерения напряжения, %
2—10^3	$\pm(0,2+1,5/U_{вх})$
10^3—10^5	$\pm(0,3+3,5/U_{вх})$
10^5—10^6	$\pm[(0,3-1,4)+(1,7-3,8)/U_{вх}]$

Измерение радиоимпульсов

Диапазон измерения напряжений, В	Скважность
1—150	10^3
1,4—150	10^4

Длительность импульса 1 мкс — 25 мс

Частота повторения импульсов более 20 Гц

Несущая частота радиоимпульсов 4 кГц — 1000 МГц

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения импульса, %
$4\cdot10^{-3}$—10	$\pm(0,2+1/U_{вх}+A)$
10—200	$\pm(1+0,5/U_{вх}+A)$
200—300	$\pm(2,5+A)$
300—500	$\pm(4,0+A)$
500—700	$\pm(6,0+A)$
700—900	$\pm(10,0+A)$
900—1000	$\pm(12,0+A)$

Здесь $A=\pm(1+5/U_{вх})\cdot10^{-4}Q$

Измерения напряжения синусоидальной формы

Диапазон измерения напряжений синусоидальной формы 1—150 В на пределах шкал 15 и 150 В

Диапазон частот 20 Гц — 1000 МГц

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения синусоидальной формы, %
$20\cdot10^{-6}$—10	$\pm(0,2+A)$
10—100	$\pm(1,0+A)$
100—200	$\pm(1,5+A)$
200—300	$\pm(2,5+A)$
300—500	$\pm(4+A)$
500—700	$\pm(6+A)$
700—900	$\pm(10+A)$
900—1000	$\pm(12+A)$

Здесь $A=0,12/U_{вх}$

Измерение напряжения постоянного тока положительной полярности

Диапазон измерения напряжений постоянного тока положительной полярности 1 и 150 В на пределах шкал 15—150 В

Погрешность измерения напряжения постоянного тока положительной полярности $\pm(0,15+0,12/U_{вх})$ %

Входное сопротивление более 80 кОм

Входная емкость менее 1,5 пФ

КСВ	Частота, МГц
1,1	300
1,3	700
1,5	1000

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 100 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

630×350×340 мм

Масса 30 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.60) является вольтметром амплитудных значений компенсационного типа. Цифровое отсчетное табло его проградуировано в амплитудных значениях импульсного напряжения (ре-

жим работы «видеоимпульс») и в амплитудных значениях гармонического напряжения (режим работы «радиоимпульс и синусоида»).

В качестве элемента сравнения измеряемого напряжения с компенсирующим применен вакуумный диод с

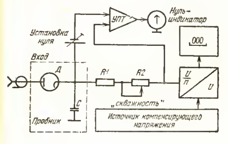


Рис. 1.60.

емкостной нагрузкой, заключенный в высокочастотный пробник. Этим обеспечивается очень широкая полоса пропускания, малая входная емкость, высокая точность измерений, высококачественное согласование входа прибора с источником сигнала. Последнее достигается тройниковым соединителем с нагрузкой, обладающим малым КСВ. Многочисленные соединители, входящие в комплект прибора, позволяют включать его в различные тракты параллельно нагрузке или испытуемому прибору, практически не шунтируя их.

Для измерения амплитудных значений видеоимпульсов отрицательной полярности к прибору прилагается специальная приставка, обеспечивающая эти измерения в диапазоне 10—150 В при длительности импульсов более 0,5 мкс с погрешностью от 1,5% при малых скважностях и до 5% при больших.

Прибор является наиболее точным вольтметром импульсного тока. Благодаря возможности измерять напряжения самой разнообразной формы: импульсные, импульсно-модулированные, напряжения гармонической формы и постоянного тока — он находит самое широкое применение в поверочных и контрольных лабораториях, отделах технического контроля и метрологических пунктах, где используется для поверки и градуировки вольтметров, импульсных генераторов, генераторов стандартных сигналов, точного измерения амплитудно-частотных характеристик четырехполюсников.

Милливольтметр импульсного тока В4-12

Милливольтметр (рис. 1.61) предназначен для измерения амплитудных значений напряжений видеоимпульсов и амплитудных значений напряжений переменного тока.

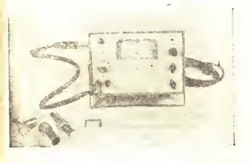


Рис. 1.61.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 1 мВ—100 В на пределах шкал 3—10—30—100—300—1000 мВ, с внешним делителем 1:1000 на пределе 1—100 В

Диапазон частот 500 Гц — 5 МГц (для гармонических сигналов)

Длительность импульсов 0,1 — 300 мкс

Частота повторения импульсов 50 Гц — 100 кГц

Скважность импульсов более 2

Длительность фронта импульсов не менее 15 нс

Длительность импульсов, мкс	Погрешность измерения напряжения, %, для импульсного сигнала на пределах измерения $U_к$	
	1—1000 мВ	1—100 В
0,1—0,4	±6	±6
0,4—50	±4	±6
50—200 ($Q>100$)	±4	±6
50—300 ($Q<100$)	±6	±6

Здесь Q — скважность импульсов

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения напряжения, %, для гармонического сигнала на пределах измерения $U_к$	
	1—1000 мВ	1—100 В
$500\cdot10^{-6}$—1	±4	±6
1—5	±6	±10

Входное сопротивление более 1 МОм

Входная емкость, пФ	Пределы измерения напряжения, В
10	$1\cdot10^{-3}$—1
5	1—100

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В; частотой 400Гц $^{+28}_{-12}$ Гц, напряжением 220±11 В.

Потребляемая мощность 20 ВА

Условия эксплуатации: температура от — 30 до + 50° С, относительная влажность до 98% при +40° С

Габаритные размеры

253×162×242 мм

Масса 8 кг

Использование в приборе (рис. 1.62) диодного автокомпенсационного детектора позволяет измерять сигналы импульсных и гармонических напряжений. Входное устройство прибора выполнено в виде выносного высокочастотного пробника, а внешний делитель — в виде насадки к этому пробнику. Такое конструктивное построение дает возможность измерять импульсные напряжения с крутыми

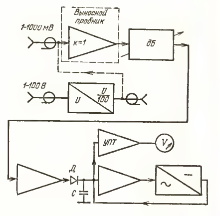


Рис. 1.62.

фронтами малой длительности в несогласованных цепях и коаксиальных трактах. В последнем случае пробник включается в этот тракт через прилагаемый к прибору тройниковый переход.

Вольтметр импульсный цифровой В4-13

Вольтметр (рис. 1.63) предназначен для точного измерения амплитудных значений видеоимпульсных и гармонических напряжений, а также напряжений постоянного тока.

Основные технические характеристики

Диапазоны измеряемых импульсных и гармонических напряжений, а также напряжений постоянного тока:

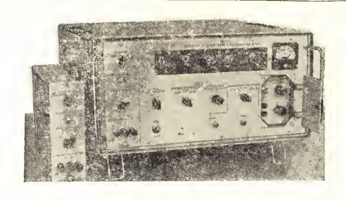


Рис. 1.63.

0,1—15 В на пределе 15 В;
10—150 В на пределе 150 В

Диапазон частот для гармонического напряжения 10 Гц—100 кГц

Погрешность измерения напряжений	Длительность импульса, мкс
$0{,}005\,U_x+20$ мВ	0,5 и более
$0{,}04\,U_x+30$ мВ	0,1—0,5

Здесь U_x — измеряемое напряжение

Частота повторения импульсов:
10 Гц — 1 МГц на пределе 15 В,
10 Гц — 100 кГц на пределе 150 В

Входное сопротивление 50, 75, 150, 1000 Ом, 1 МОм

Входная емкость менее 35 пФ

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0{,}5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220 ± 11 В

Потребляемая мощность 180 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность 98% при +30° С

Габаритные размеры
480×238×435 мм

Масса 26 кг

Прибор является автокомпенсационным вольтметром (рис. 1.64), измеряющим амплитудные значения напряжений. Благодаря использованию диодного дискриминатора в качестве

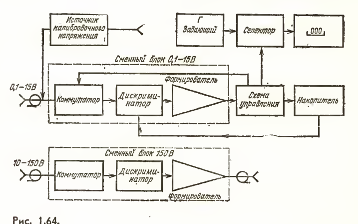


Рис. 1.64.

элемента сравнения измеряемого напряжения с опорным напряжением постоянного тока и применению метода периодической коррекции нуля прибор В4-13 является наиболее точным автоматическим измерителем импульсных напряжений в широком диапазоне длительностей. Универсальность схемы позволяет измерять не только импульсные, но и гармонические напряжения, а также напряжения постоянного тока.

Прибор включает в себя внутренний калибратор напряжения. Кроме того, он имеет ручной и автоматический режимы запуска и режим усреднения результатов измерений. Отсчетное устройство его выполнено в виде пятиразрядного цифрового табло. Информация о результате измерения выдается в двоично-десятичном коде 2-4-2-1.

Широкий диапазон входных напряжений обеспечивается двумя сменными измерительными блоками с верхними пределами измерения 15 и 150 В.

Прибор применяется для настройки и испытания импульсной аппаратуры и незаменим при контроле амплитуды выходных импульсов генераторов импульсов, калибровке импульсных вольтметров. Наличие цифрового выхода делает вольтметр В4-13 удобным для использования в автоматизированных измерительных системах.

Милливольтметр импульсного тока В4-14

Милливольтметр (рис. 1.65) предназначен для измерения амплитудных значений видеоимпульсных, радиоимпульсных и гармонических напряжений.

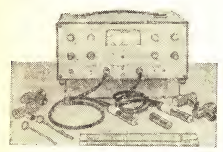


Рис. 1.65.

Основные технические характеристики

Измерение видеоимпульсов

Диапазон измерения напряжения видеоимпульсов 3 мВ—100 В на пределах шкал 10—30—100—300—1000 мВ, с делителем 1 : 100 на пределах 3—10—30—100 В

Длительность импульсов 3 нс — 100 мкс

Частота повторения импульсов 25 Гц—50 МГц

Скважность импульсов более 5

Диапазон длительностей, нс	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения $U_к$		
	10 мВ	30—1000 мВ	3—100 В
3—6		10—15	10—25
6—30	—	4—10	6—15
$30-100\cdot10^3$	25	4—6	4—6

Измерение радиоимпульсов

Диапазон измерения напряжений радиоимпульсов 10 мВ — 1000 мВ на пределах шкал 30—100—300—1000 мВ

Длительность импульсов 200 нс — 100 мкс

Несущая частота радиоимпульсов 1—100 МГц

Частота повторения импульсов 25 Гц — 300 кГц

Измерение гармонического напряжения

Диапазон измерения гармонического напряжения 10 мВ — 1000 мВ на пределах шкал 30—100—300—1000 мВ

Несущая частота 1—100 МГц

Погрешность измерения гармонического напряжения:

4—6% для частот 1—5 МГц,
4—10% для частот 5—30 МГц,
10—15% для частот 30—100 МГц

Пределы измерения, В	Входное сопротивление, кОм	Входная емкость, пФ
0,01—1	3	<12
3—100	5	< 5

Величина напряжения постоянного тока на аналоговом выходе 10 В

Погрешность выходного напряжения соответствует погрешности измерения

Выходное сопротивление 2 кОм

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0{,}5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В и частотой 400 Гц $^{+28}_{-12}$ Гц, напряжением 220 ± 11 В

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40°$ С, относительная влажность до 98% при $+30°$ С

Габаритные размеры

360×160×260 мм

Масса 10 кг

Прибор является автокомпенсационным вольтметром амплитудных значений (рис. 1.66). Он имеет два независимых канала для сигналов положительной и отрицательной полярности. В качестве компаратора используется триггер на туннельном диоде, осуществляющий сравнение амплитуды сигнала с напряжением постоянного тока, а также обеспечивающий высокую чувствительность милливольтметра и широкую полосу пропускания. Входное устройство выполнено в виде пробника, что позволяет измерять импульсные сигналы как в 50-, так и 75-омных коаксиальных трактах, используя соответствующие разветвители из комплекта прибора. Внешний делитель представляет собой насадку на пробник.

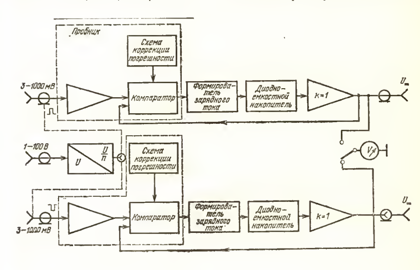


Рис. 1.66.

Милливольтметр применяется при регулировке и поверке импульсной аппаратуры, исследовании полупроводниковых элементов и микросхем и обладает наибольшей полосой пропускания по сравнению с аналогичными приборами. Наличие линейного выхода постоянного тока позволяет использовать его в автоматизированных системах управления и контроля качества продукции.

Вольтметр импульсного тока В4-17

Вольтметр (рис. 1.67) предназначен для измерения амплитудных значений напряжений одиночных и редко повторяющихся видеоимпульсов в диапазоне длительностей 0,2 — 1000 мкс.

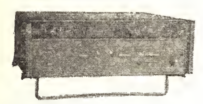


Рис. 1.67.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 10 мВ — 1000 В на пределах шкал 0,1—1—10—100 В, с внешним делителем 1:10 на пределе 1000 В

Длительность импульса 0,2—1000 мкс

Частота повторения импульсов 0—100 Гц

Входная емкость менее 15 пФ

Входное сопротивление 500 кОм

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 90 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 98% при +30° С

Габаритные размеры
176×490×475 мм

Масса 17 кг

Прибор (рис. 1.68) состоит из базового блока с цифровым индикатором и вставного блока Б1-1. Он снабжен внутренним источником импульсов с калиброванной амплитудой. Предусмотрен режим непрерывных измерений, когда показания прибора изменяются в такт с поступлением каждого измеряемого импульса, а также режим однократного измерения, когда прибор не реагирует на импульсы, следующие вслед за первым из измеряемых. В этом режиме результаты измерений сбрасываются вручную. Выход для записи на регистрирующее устройство дается в коде 8-4-2-1.

Отличительной особенностью вольтметра В4-17 является то, что он может измерять характеристики однократных процессов.

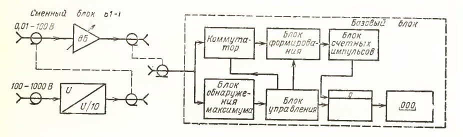


Рис. 1.68.

Диапазон длительностей, мкс	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения $U_н$		
	0,1 В	1—10—100 В	1000 В
0,2—1	6+A	5+A	6+A
1—100	2,5+A	1,5+A	4+A
100—1000	3+A	2+A	4+A

Здесь $A = 0,1\, U_к/U_x$

Вольтметр импульсного тока В4-17А

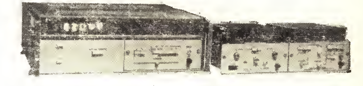


Рис. 1.69.

Вольтметр (рис. 1.69) предназначен для измерения амплитудных напряжений одиночных и редко повторяющихся видеоимпульсов.

Основные технические характеристики

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 90 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 98 % при +30° С

Габаритные размеры 176×490×475 мм, сменных блоков 228×250×140 мм

Масса прибора с комплектом сменных блоков 25 кг

Характеристики	Сменные блоки		
	Б1-1	Б1-2	Б1-3
Диапазон измерения напряжений, В	10^{-2}—1000 на пределах 10^{-2}—10^{-1}—1—10—100, с внешним делителем 1000	1—100 на пределах 1—10—100	0,1—1000 на пределах 0,1—1—10—100, с внешним делителем 1000
Длительность импульсов, мкс	0,2—1000	(10—500)·10^{-3} при $R_{вх}$=50 Ом±1%; (30—500)·10^{-3} при $R_{вх}$=50—100 кОм и $C_{вх}$<15 пФ	(0,01—100)·10^{3}
Диапазон частот, Гц	0—100	0—100	0—1
Входное сопротивление, кОм	500	0,05; 10; 100	500
Входная емкость, пФ	40	15	50
Скважность	—	—	100

Диапазон длительностей, мкс	Погрешность измерения напряжения, %, на пределах измерения $U_к$			Используемый блок
	100 мВ	1—100 В	100 В	
(10—500)·10^{-3}	(10+15)+A	—	—	Б1-2
0,2—1	6+A	5+A	6+A	Б1-1
1—100	2,5+A	1,5+A	5+A	Б1-1
100—1000	3+A	2+A	4+A	Б1-1
(0,01—100)·10^{3}	—	4+A	6+A	Б1-3

Здесь $A=0,1\ U_к/U_x$

Прибор (рис. 1.66) представляет собой вольтметр В4-17 с дополнительным комплектом сменных блоков. Он состоит из базового блока с цифровым индикатором и преобразователей напряжения, выполненных в виде сменных блоков. Сменный блок Б1-1 обеспечивает измерение импульсов микросекундного диапазона длительностей, сменный блок Б1-2 — миллисекундного диапазона. Сменный блок Б1-3 является стробоскопическим преобразователем и осуществляет измерение мгновенных значений напряжений импульсов миллисекундной длительности в заданный момент времени.

Блок Б1-1 обладает наиболее высокой точностью измерений. Блок Б1-2 является широкополосным преобразователем и имеет два выхода — согласованный 50-омный и высокоомный, выполненный в виде пробника. Разрешающее время стробоскопического блока Б1-3 составляет 30 мкс. Вольтметр В4-17А применяется при измерении характеристик однократных процессов.

Наличие выхода на регистрирующее устройство позволяет широко использовать прибор в составе автоматизированных измерительных систем управления и контроля.

1.5. Вольтметры универсальные

Вольтметр универсальный В7-13

Вольтметр (рис. 1.70) предназначен для измерения постоянного и среднеквадратического значений гармонических напряжений, активного сопротивления, силы постоянного и среднеквадратического значений гармонических токов.

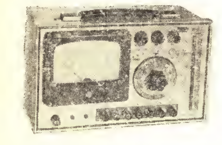


Рис. 1.70.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения постоянного напряжения 10 мВ — 1000 В на пределах шкал 30—100—300 мВ—1—3—10—30—100—300—1000 В.

Пределы измерения низкочастотного напряжения 100—300 мВ—1—3—10—30—100—300—1000 В

Пределы измерения напряжения, В	Входное сопротивление постоянному току, МОм/В
$30 \cdot 10^{-3}$—10	1,4
30—1000	13

Пределы измерения низкочастотного напряжения, В	Диапазон частот, Гц
<30	$20—20 \cdot 10^3$
100, 300	$20—10 \cdot 10^3$
1000	$20—5 \cdot 10^3$

Входное сопротивление при измерении низкочастотного напряжения 100—300 кОм

Входная емкость 60 пФ

Пределы измерения высокочастотного напряжения 100—300 мВ—1—3—10—30—100—300 В, с делителями 1 : 10 и 1 : 100 пределы 10—300 В

Пределы измерения высокочастотного напряжения, В	Диапазон частот, кГц
0,1—3	$10—10^6$
10—30	$10—500 \cdot 10^3$
100—300	$10—300 \cdot 10^3$

Входное сопротивление при измерении высокочастотного напряжения:
100 кОм на пределе 0,3 В,
150 кОм на пределах 1—3 В
Входная емкость 2 пФ
Диапазон измерения постоянного тока 0,3 мкА — 15 А на пределах 1—10—100 мкА—1—10—100 мА—1—5—15 А. При токах 5—15 А используются внешние шунты
Диапазон измерения переменного тока 30 мкА—15 А на пределах 100 мкА—1—10—100 мА—1—5—15 А. При токах 5—15 А используются внешние шунты

Диапазон частот, кГц	Пределы измерения переменного тока А
$20\cdot10^{-3}$—5	10^{-4}—5
$20\cdot10^{-3}$—1	15

Диапазон измерения сопротивления 1 Ом—30 МОм на пределах 15—150—1500 Ом —15—150—1500 кОм

Относительная погрешность измерения постоянного напряжения 2,5%
Относительная погрешность измерения низкочастотного напряжения 4—6%
Относительная погрешность измерения высокочастотного напряжения 4—15%
Относительная погрешность измерения сопротивления 2,5%
Относительная погрешность измерения переменного тока 6—10%
Относительная погрешность измерения сопротивления 3,5%
Питание: три элемента типа «Марс»
Условия эксплуатации: температура от — 30 до +50° С, относительная влажность менее 98% при +40° С
Габаритные размеры
245×180×160 мм
Масса 4,2 кг

Принцип работы прибора (рис. 1.71) заключается в следующем: измеряемое постоянное или выпрямленное соответствующим детектором пе-

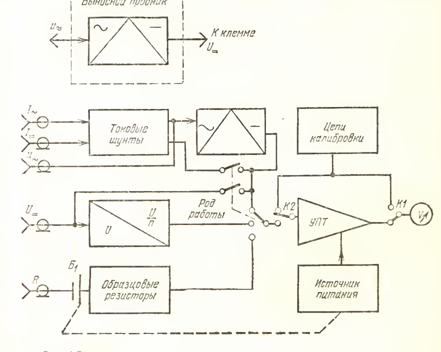


Рис. 1.71.

ременное напряжение подается на делитель напряжения и на вход УПТ, на выходе которого включен микроамперметр со специально градуированной шкалой.

В зависимости от величины измеряемого напряжения используются различные входные клеммы. При измерении напряжений на пределах 10 В—1 кВ следует пользоваться клеммой с гравировкой «10 В — 1 кВ». Использование двух потенциальных клемм при измерении постоянных напряжений позволяет уменьшить влияние паразитных утечек тока в условиях повышенной влажности.

При измерении токов используются внутренние и внешние шунты. На пределах 5 и 15 А следует использовать внешние шунты *Ш1*, входящие в комплект прибора. Падение напряжения на шунтах при номинальном значении пределов измерения составляет 300 мВ.

При измерении силы переменных токов напряжение с шунтов поступает на вход детектора, а затем на вход УПТ.

Выносной пробник позволяет измерять напряжения высокой частоты непосредственно у источника напряжения, не оказывая на него заметного влияния. При этом напряжение не должно превышать 3 В. При бóльших напряжениях на пробник одеваются цилиндрические делители напряжения ДН-1 (1:10) и ДН-2 (1:100).

Для измерения в высокочастотных трактах с волновым сопротивлением 75 Ом используется коаксиальный тройниковый переход ТП-1.

Электрическая схема прибора позволяет использовать его в качестве индикатора при измерении постоянного напряжения на пределе 10 мВ и при измерении напряжения высокой частоты на пределах 0,3—3 В в диапазоне частот до 1000—1500 МГц. Погрешность измерения при этом не гарантируется.

При измерении в цепях постоянных и низкочастотных сигналов предусмотрены съемные щупы. Длина соединительных проводов позволяет производить измерения в малодоступных местах исследуемых объектов.

Конструктивное исполнение прибора и особенности его электрической схемы позволяют работать с ним в жестких условиях эксплуатации. Автономное питание, малые габаритные размеры и универсальность делают прибор незаменимым для проведения различных регламентных, ремонтных и регулировочных работ в полевых условиях.

Вольтметр В7-13 по техническим характеристикам заменяет прибор ВК7-1, ВК7-6, ВК7-6А, ВК7-4.

Вольтметр универсальный В7-15

Прибор (рис. 1.72) предназначен для измерения постоянных и среднеквадратического значений гармонических напряжений, а также активного сопротивления.

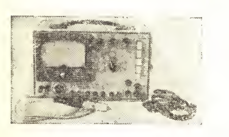


Рис. 1.72.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения постоянного напряжения 30 мВ—1000 В на пределах шкал 0,3—1—3—10—30—100—300—1000 В, с делителем ДН-105 1—20 кВ на пределах 30—100—300 В

Входное сопротивление при измерении постоянного напряжения 15 МОм, с делителем ДН-105 350 МОм

Диапазон измерения низкочастотного напряжения 0,2—1000 В на пределах 1—3—10—30—100—300—1000 В

Диапазон частот, кГц	Пределы измерения низкочастотного напряжения, В
$20\cdot10^{-3}$—10^{3}	1—100
$20\cdot10^{-3}$—5	300—1000

Входное сопротивление при измерении низкочастотного напряжения 3 МОм на частоте 1 кГц

Входная емкость 10—30 пФ

Диапазон измерения высокочастотного напряжения 0,2—100 В на пределах 1—3—10—30—100 В, с делителем ДН-106 100—1000 В на пределах 30—100 В

Диапазон частот при измерении высокочастотного напряжения 20 Гц—70 МГц, с делителем ДН-106 диапазон 5кГц—300 МГц

Входное сопротивление при измерении высокочастотного напряжения 50—100 кОм на частоте 100 МГц

Входная емкость 1,8 пФ, с делителем ДН-106 4 пФ

Диапазон измерения сопротивления 10 Ом—1000 МОм.

Относительная погрешность при измерении постоянного напряжения 2,5%

Относительная погрешность при измерении низкочастотного напряжения 2,5—4%

Относительная погрешность при измерении высокочастотного напряжения 2,5—4%; с делителем ДН-106 на частоте 100 кГц 6%

Относительная погрешность измерения сопротивления 2,5—4%

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220±11 В.

Потребляемая мощность 25 Вт

Условия эксплуатации: температура от — 30 до +50° С, относительная влажность 98% при +40° С

Габаритные размеры

270×180×175 мм

Масса 5,5 кг

Принцип работы прибора (рис. 1.73) заключается в следующем: измеряемое постоянное или выпрямленное детектором переменное напряжение подается на вход УПТ, на выход которого подключен микроамперметр со специальной шкалой, градуированной в вольтах, омах и децибелах.

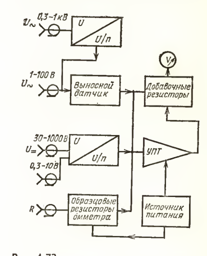


Рис. 1.73.

Для измерения высоких постоянных (1—20 кВ) и переменных (100—1000 В) напряжений к прибору придаются специальные делители напряжения ДН-105 и ДН-106. Делитель напряжения ДН-105 (U_{max}=20 кВ) состоит из рукоятки и корпуса с резьбовым соединением, внутри которых находятся резисторы. Коэффициент деления 1:100 (с учетом входного сопротивления вольтметра). При измерении напряжений свыше 10 кВ категорически запрещается держать делитель за рукоятку. Он должен быть присоединен к высокопотенциальному полюсу предварительно обесточенного источника с помощью имеющегося зажима. Заземляющий провод делителя ДН-106, клемма ⊥ прибора и корпус измеряемого источника должны быть надежно заземлены.

Детектор выполнен в виде выносного пробника, позволяющего производить измерения непосредственно у источника напряжения. Такое исполнение обеспечивает уменьшение влияния на источник напряжения входной емкости прибора и соединительных проводов при измерении высокочастотных напряжений. При измерении низкочастотных напряжений через

входные клеммы прибора пробник должен быть установлен в специальное гнездо.

Делитель напряжения ДН-106 с коэффициентом деления 1:100 применяется при измерении высокочастотных напряжений в пределах 100—1000 В и выполнен в виде цилиндрической насадки на пробник. Оба плеча делителя емкостные, одно из них регулируемое.

При измерениях в высокочастотных трактах с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом используются тройниковые переходы ТП-103 и ТП-104, включаемые в разрыв тракта. В раструб тройникового перехода вставляется пробник и подается измеряемое напряжение. Так как в тракте с неполностью согласованной нагрузкой возникают стоячие волны, то напряжение измеряется на месте включения нагрузки. Если известен КСВ тракта (K), то наибольшая погрешность измерения за счет КСВ тракта составит величину

$$\delta_{\text{доп}} = (K - 1)\sin\frac{2\pi l}{\lambda} \cdot 100\ \%,$$

где l — электрическая длина между точкой включения вольтметра и точкой подсоединения нагрузки [см], λ — длина волны, на которой производится измерение [см].

При измерении переменного напряжения высокой частоты (свыше 100 МГц) возникает дополнительная погрешность, обусловленная неравномерностью частотной характеристики прибора. Эту погрешность можно скомпенсировать с помощью поправочных множителей, приведенных в описании прибора.

Дополнительная погрешность, обусловленная отклонением формы измеряемого напряжения от гармонической, при коэффициенте гармоник менее 20% рассчитывается по формуле

$$\delta_{\text{доп}} = 100\ \% \left(\sum_{n=2}^{\infty} U_n \right) \Big/ U_1,$$

где U_n — амплитуда гармонической составляющей; U_1 — амплитуда первой гармоники; n — номер гармоники.

Вольтметр универсальный В7-15 удобен в эксплуатации при разработке и ремонте различной радиоаппаратуры и заменяет по техническим характеристикам ВК7-9.

Вольтметр универсальный В7-16

Вольтметр (рис. 1.74) предназначен для измерения постоянного и переменного напряжений и активных сопротивлений.

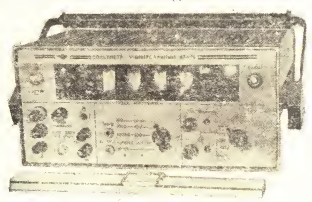


Рис. 1.74.

Основные технические характеристики

Входное сопротивление при измерении постоянного напряжения 10 МОм

Измеряемое постоянное напряжение, В		Время преобразования, мс
Диапазон	Пределы	
10^{-4}—1000	1—10—100—1000	20
10^{-3}—1000	10—100—1000	2

Диапазон измерения переменного напряжения 0,1 мВ—1000 В на пределах 1—10—100—1000 В

Диапазон частот, кГц	Пределы измерения переменного напряжения, В
$20\cdot10^{-3}$—1000	до 1
$20\cdot10^{-3}$—20	1—300

Входное сопротивление при измерении переменного напряжения 1 МОм
Входная емкость 120 пФ
Время измерения 5—10 с
Диапазон измерения сопротивления 0,1 Ом—10 МОм на пределах 1—10—100 кОм — 1—10 МОм
Время измерения 10 с

Относительная погрешность при измерении постоянного напряжения, %	Время преобразования, мс
$\pm(0{,}05+0{,}05A)$	20
$\pm(0{,}1+0{,}1A)$	2

Относительная погрешность при измерении переменного напряжения, %	Частота, кГц	Пределы измеряемого напряжения, В
$\pm(0{,}2+0{,}02A)$	$20\cdot10^{-3}$—20	менее 1
$\pm(1+0{,}1A)$	20—50	менее 1
$\pm(1{,}5+0{,}1A)$	50—100	менее 1
$\pm(0{,}5+0{,}2A)$	$20\cdot10^{-3}$—20	1—300

Здесь $A=U_{\text{к}}/U_x$.

Относительная погрешность измерения сопротивления, %	Пределы измерения сопротивления, МОм
$\pm(0{,}2+0{,}02B)$	0,1
$\pm(0{,}2+0{,}2B)$	1—10

Здесь $B=R_{\text{к}}/R_x$

Подавление помехи последовательного вида частоты 50 Гц не менее 30 дБ, с фильтром 40—60 дБ

Подавление помехи последовательного вида частоты 400 Гц не менее 40 дБ

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220(115) В±5%

Потребляемая мощность 50 ВА

Условия эксплуатации: температура от — 10 до +50° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры

348×160×425 мм

Масса 12 кг

Работа вольтметра (рис. 1.75) основана на время-импульсном методе измерения напряжения. Входное напряжение после соответствующего масштабного преобразования сравнивается с линейно-изменяющимся напряжением. В моменты равенства этих напряжений состояние сравнивающего устройства (компаратора) изменяется, на его выходе появляется импульс, длительность которого, пропорциональная входному напряжению, измеряется счетчиком.

В приборе предусмотрены два режима преобразования: 20 и 2 мс. При первом результат измерения является алгебраической суммой 10 циклов преобразования и индицируется в четырех разрядах. Во втором индицируется результат одного цикла преобразователя в трех разрядах.

Выбор режима преобразования позволяет отдать предпочтение либо высокой точности, либо малому времени измерения.

При внутреннем запуске работа прибора в целом синхронизируется от сети, что увеличивает степень подавления наложенных на сигнал сетевых помех.

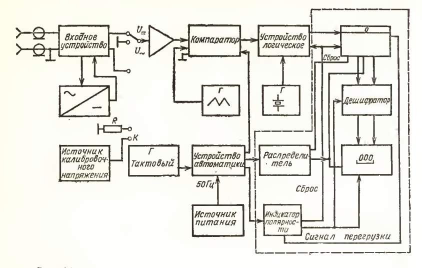


Рис. 1.75.

Для работы в условиях сильных помех в приборе имеется фильтр, обеспечивающий подавление помехи с частотой 50 Гц, но при его использовании увеличивается время измерения до 1 с.

Вольтметр можно использовать для работы в автоматических системах измерения и контроля. Дистанционный запуск осуществляется внешними пусковыми импульсами амплитудой +4 В, длительностью не более 10 мкс и частотой не более 500 Гц при времени преобразования 2 мс и частотой не более 50 Гц при времени преобразования 20 мс. Результат измерения выводится для регистрации в двоично-десятичном коде 8-4-2-1 с потенциальными логическими уровнями +2,4 и −0,3 В на нагрузке 10 кОм.

Выдается также информация о знаке измеряемого постоянного напряжения, времени преобразования и состоянии перегрузки.

Вольтметр можно использовать в составе различных систем для автоматизации измерительных и контрольных операций. Он выполнен на полупроводниковых приборах и микросхемах, обладает высокой надежностью и по техническим характеристикам заменяет прибор ВК7-10А/1.

Вольтметр универсальный В7-17

Вольтметр (рис. 1.76) предназначен для измерения постоянного и среднеквадратического значения гармонических напряжений и активного сопротивления.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения постоянного напряжения 30 мВ—1000 В на пределах 0,3—1—3—10—30—100—300—

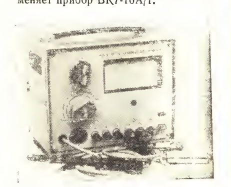


Рис. 1.76.

1000 В, с делителем ДН-500 на пределе 1000 В

Входное сопротивление при измерении постоянного напряжения 30 МОм

Диапазон измерения низкочастотного напряжения 200 мВ—1000 В на пределах 1—3—10—30—100—300—1000 В

Диапазон частот, кГц	Пределы измерения низкочастотного напряжения, В
$20 \cdot 10^{-3}$—200 $20 \cdot 10^{-3}$—3	1—300 1000 с делителем ДН-500

Входное сопротивление при измерении низкочастотного напряжения более 5 МОм

Входная емкость 20 пФ

Диапазон измерения высокочастотного напряжения 0,2—1000 В с делителем ДН-501 на пределах 300—1000 В

Диапазон частот, МГц	Пределы измерения высокочастотного напряжения, В
10^{-3}—1000 $3 \cdot 10^{-3}$—300	1—100 300 и 1000 с делителем ДН-501

Входное сопротивление при измерении высокочастотного напряжения 75 кОм

Входная емкость 1,5 пФ, при работе с ДН-501 3 пФ

Диапазон измерения сопротивления 10 Ом — 1000 МОм

Относительная погрешность при измерении постоянного напряжения:

2,5% на пределах 0,3—300 В,
4% на пределе 1000 В

Относительная погрешность при измерении переменного напряжения 4—6%

Относительная погрешность при измерении сопротивления 2,5%

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 25 ВА

Условия эксплуатации: температура от — 10 до +50° С, относительная влажность до 98% при +40° С

Габаритные размеры
225×205×180 мм

Масса 4,5 кг

Принцип работы прибора (рис. 1.77) заключается в следующем: измеряемое постоянное или выпрямленное детектором переменное напряжение подается через делитель напряжения на вход УПТ, к выходу которого подключен микроамперметр со спиральной шкалой, проградуированной в вольтах, омах и децибелах.

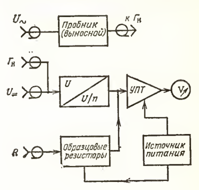


Рис. 1.77.

При измерении переменного напряжения, особенно высокой частоты, большое влияние оказывает шунтирующая измеряемый источник входная емкость прибора и емкость соединительных проводов. Поэтому прибор имеет специальный выносной пробник, используемый при измерении переменных напряжений высокой частоты. Этот пробник представляет собой детектор и позволяет проводить измерения непосредственно у источника напряжения, не нагружая его. При измерении высокочастотного напряжения на пробник предварительно надевается высокочастотная насадка (колпачок), входящая в состав прибора.

При измерении низкочастотного напряжения через входные клеммы высокочастотная насадка снимается и пробник устанавливается в специальное гнездо прибора.

При измерении высоких постоянных (свыше 300 В) и переменных (свыше 100 В) напряжений необходимо ис-

пользовать делители напряжения ДН-500 и ДН-501. Делитель ДН-500 выполнен в виде щупа. Делитель ДН-501 имеет цилиндрическую форму и размеры, позволяющие надевать его непосредственно на пробник.

При измерениях в высокочастотных трактах с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом используются тройниковые переходы ТП-105 и ТП-106, включаемые в разрыв тракта. В раструб перехода вставляется пробник, затем в линию подается напряжение и производится измерение. Следует учитывать, что так как в тракте с неполностью согласованной нагрузкой возникают стоячие волны, то напряжение в местах включения тройникового перехода может отличаться от напряжения на нагрузке.

При измерении переменного напряжения высокой частоты в области частот свыше 100 МГц появляется дополнительная погрешность, обусловленная неравномерностью частотной характеристики прибора. С помощью усредненных поправочных характеристик (рис. 1.78) эту погрешность можно исключить.

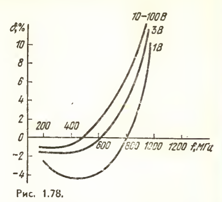


Рис. 1.78.

Следует учитывать, что при отклонении формы измеряемого напряжения от гармонической возникает дополнительная погрешность прибора.

По техническим характеристикам вольтметр В7-17 заменяет прибор ВК7-9.

Вольтметр цифровой универсальный В7-18


Рис. 1.79.

Вольтметр (рис. 1.79) предназначен для измерения напряжения и силы постоянного тока, сопротивления и частоты. Кроме того, прибор В7-18 может измерять совместно с преобразователем В9-1 переменные напряжения.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения постоянного напряжения 10 мкВ — 1000 В на пределах 0,1—1—10—100—1000 В

Пределы измерения постоянного напряжения, В	Входное сопротивление, МОм
0,1	0,1
1	1
10—1000	10

Диапазон измерения токов 10^{-9}—10^{-2} А на пределах 10^{-6}—10^{-5}—10^{-4}—10^{-3}—10^{-2} А

Входное сопротивление 0,5 и 10 Ом при измерении тока на пределе 10^{-2} А

Диапазон измерения сопротивления $1-10^7$ Ом на пределах 1—10—100—10^3—10^4 кОм

Диапазон измерения частоты 10 Гц—1 МГц

Входные параметры при измерении частоты:

напряжение 0,1—10 В,
сопротивление 50 кОм,
емкость 10 пФ

Относительная погрешность при измерении постоянного напряжения, %	Время измерения, с
$\pm(0{,}05+0{,}02\,A)$	1
$\pm(0{,}05+0{,}03\,A)$	0,1
$\pm(0{,}05+0{,}3\,A)$	0,01

Здесь $A=U_н/U_x$

Пределы измерения тока, А	Время измерения, с	Относительная погрешность при измерении тока, %
$10^{-6}-10^{-3}$	0,1 и 1	$\pm(0{,}1+0{,}1\,B)$
10^{-2}	0,5 и 1	$\pm(0{,}1+0{,}1\,B)$

Здесь $B=I_н/I_x$

Пределы измерения сопротивления, кОм	Время измерения, с	Относительная погрешность при измерении сопротивления, %
$1-10^3$	0,1 и 1	$\pm(0{,}1+0{,}1\,C)$
10^4	0,1 и 1	$\pm(0{,}5+0{,}1\,C)$

Здесь $C=R_н/R_x$

Относительная погрешность при измерении частоты

$$\pm(2{,}5\cdot10^{-7}+1/f_x t_{изм})$$

Время измерения частоты 0,01; 0,1 и 1 с

Время индикации 0,05; 0,2; 0,5; 1,5 с

Подавление помехи последовательного вида не менее 40 дБ на частоте 50 Гц ± 0,5 Гц

Подавление помехи общего вида не менее 110 дБ на частоте 50 Гц± 0,5 Гц

Питание от сети переменного тока частотой 50 ± 0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 130 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность менее 95% при +30° С

Габаритные размеры

480×120×475 мм

Масса 20 кг

Прибор (рис. 1.80) состоит из двух секций: преобразователя постоянного напряжения, тока и сопротивления в частоту, гальванически развязанного от всего прибора для подавления помех общего вида, и счетной части с входящими в нее частотомером, блоком управления, блоком автоматического выбора пределов (АВП) и блоком питания.

В основу работы преобразователя напряжения в частоту ($U\rightarrow f$) положен метод интегрирования входного постоянного напряжения. В момент, когда выходное напряжение интегратора становится равным уровню срабатывания компаратора, запускается формирователь. Последний выдает на вход интегратора нормированный импульс обратной связи, полярность которого обратна полярности входного напряжения, и вызывает разряд интегратора. Этот процесс повторяется с частотой, пропорциональной входному напряжению. Для обеспечения необходимой стабильности формирователь помещен в активный термостат.

Для сохранения гальванической развязки преобразователя от остальной части прибора сигналы из блока управления подаются через блок развязывающих реле. Выходные импульсы преобразователя $U\rightarrow f$ снимают через трансформаторы. Счетный блок подсчитывает число импульсов за время $t_{изм}$=0,01; 0,1; 1 с, формируемое декадными делителями из кварцованной частоты 5 МГц.

Выбирая время измерения кратным периоду питающей сети 50 Гц, можно подавлять сетевые помехи. В этом случае происходит усреднение напряжения помехи за время измерения.

Выбор интегрирующего метода из-

мерения, обеспечивающего наибольшую помехозащищенность, расширяет возможности использования прибора как самостоятельного, так и в составе информационно-измерительных систем.

Прибор может работать с внешним генератором опорной частоты 5 МГц±100 Гц, напряжением 0,5—3 В среднеквадратического значения на нагрузке 100 Ом.

Вольтметр может работать в ком-

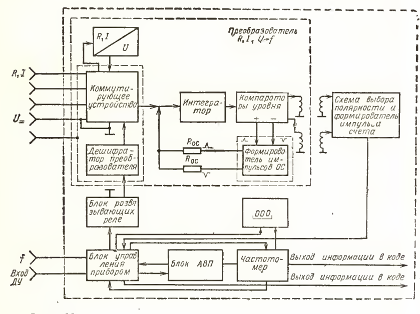


Рис. 1.80.

Вольтметр имеет ручное и дистанционное программное управление (ПУ) родом работ, режимов, временем измерения и выбором пределов. Информация о значении измеряемой величины, ее порядке, размерности и знаке выводится на регистрирующее устройство (РУ) в двоично-десятичном коде 8-4-2-1 с логическими уровнями 0—0,5 В для «0» и не менее 2,5 В для «1» на нагрузке 18 кОм.

В дистанционном режиме работы управление прибором осуществляется также в коде 8-4-2-1, уровни напряжения на нагрузке 2 кОм должны быть 0—0,5 В для логического «0» и 2—4 В для логической «1». Импульсы для дистанционного запуска должны иметь амплитуду 2,4—10 В на нагрузке 2 кОм и длительность не менее 10 мкс.

плекте с потенциальными, токовыми, резистивными и частотными датчиками. С его помощью можно осуществлять калибровку измерительной аппаратуры, выполнять точные измерения на постоянном токе, производить настройку усилителей постоянного тока, цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей, различных радиотехнических устройств.

Вольтметр универсальный В7-18 можно использовать в составе информационно-измерительных систем в качестве прибора, преобразующего информацию, поступающую с интегральных, токовых, резистивных и частотных датчиков, в цифровую форму, удобную для дальнейшей обработки и регистрации.

Вольтметр универсальный В7-20

Вольтметр (рис. 1.81) предназначен для измерения постоянного и переменного напряжений, силы постоянного тока и активного сопротивления.

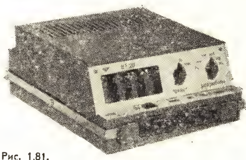


Рис. 1.81.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения постоянного напряжения 1 мВ—1000 В на пределах 1—10—100—1000 В

Диапазон измерения переменного напряжения 1 мВ—750 В на пределах 1—10—100—750 В

Диапазон частот при измерении переменного напряжения 45 Гц—20 кГц

Входное сопротивление при измерении как постоянного, так и переменного напряжения:

1 МОм на пределах 1—10 В,
5 МОм на пределах 100—1000 В

Входная емкость 150 пФ

Диапазон измерения постоянного тока 1 мкА—1000 мА на пределах 1—10—100—1000 мА

Диапазон измерения сопротивления 1 Ом—1000 кОм на пределах 1—10—100—1000 кОм

Мощность, рассеиваемая на измеряемом сопротивлении, не более 1 мВА

Время измерения постоянных напряжения и тока 1,5 с

Время измерения сопротивлений:

1,5 с при $R<100$ кОм,
3 с при 100 кОм$<R<1$ МОм

Время измерения переменного напряжения 10 с

Относительная погрешность измерения постоянного напряжения

$$\pm(0{,}5+0{,}1\ U_к/U_x)\ \%$$

Относительная погрешность измерения переменного напряжения

$$\pm(1+0{,}2\ U_к/U_x)\ \%$$

Относительная погрешность измерения постоянного тока

$$\pm(1+0{,}1\ I_к/I_x)\ \%$$

Относительная погрешность измерения сопротивления

$$\pm(1+0{,}1\ R_к/R_x)\ \%$$

Питание от сети переменного тока частотой $50\pm0{,}5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220 ± 11 В

Потребляемая мощность 12 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность менее 95% при +30° С

Габаритные размеры

95×219×260 мм

Масса 3,5 кг

Принцип работы прибора (рис. 1.82) основан на методе время-импульсного преобразования напряжения постоянного тока в прямо пропорциональный ему интервал времени с последующим измерением длительности интервала.

Измерение напряжений переменного тока осуществляется с помощью преобразователя напряжений переменного тока в напряжение постоянного тока, представляющего собой

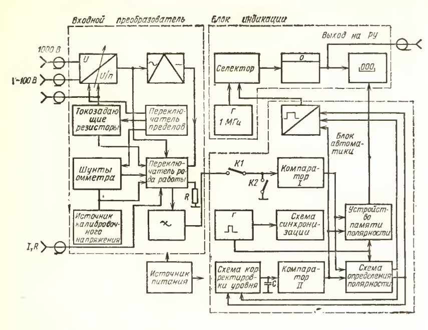


Рис. 1.82.

усилитель, охваченный глубокой обратной связью через выпрямительные цепочки.

Сила постоянного тока определяется путем измерения падения напряжения на образцовом токосъемном резисторе R.

Сопротивления измеряются с помощью преобразователя сопротивления в напряжение постоянного тока, представляющего собой источник опорного напряжения с набором резисторов.

Прибор состоит из входного преобразователя, блока автоматики, устройства индикации и блока питания. Входной преобразователь, в состав которого входят делители напряжения, токозадающие резисторы, шунты, линейный детектор и входной фильтр, служит для нормализации величины измеряемых напряжений, преобразования переменного напряжения в эквивалентное ему по значению напряжение постоянного тока. Он формирует экспоненциально развертывающееся напряжение, необходимое для измерения сопротивлений, и обеспечивает подавление помех последовательного вида при помощи входного интегрирующего фильтра.

Блок автоматики включает в себя устройство синхронизации, генератор тактовых импульсов, два компаратора, устройства определения полярности, обеспечивающие сравнение нормализованного напряжения постоянного тока с изменяющимся по линейному или экспоненциальному закону эталонным напряжением, формирователь импульса, длительность которого пропорциональна измеряемому напряжению. Этот блок обеспечивает компенсацию дрейфа нуля компараторов, определение полярности измеряемого напряжения и синхронизацию работы всех взаимосвязанных узлов прибора.

Устройство индикации включает в себя трехдекадный счетчик, генератор опорной частоты, селектор и цифровое табло. Счетчик определяет число импульсов, поступающих от генератора опорной частоты за время, равное длительности выходного импульса формирователя, и на цифровом таб-

ло индицируется результат счета. Кроме того, устройство индикации показывает полярность измеряемого напряжения, а также состояние перегрузки. С выходов счетчика информация об измеряемой величине в двоично-десятичном коде 8-4-2-1 выводится для регистрации на внешнее регистрирующее устройство.

Электрическая схема прибора полностью собрана на транзисторах и интегральных схемах.

Прибор готов к работе через 5 мин после включения и допускает непрерывную работу в течение 16 ч. В процессе работы не требуется проводить установку нуля с помощью каких-либо органов управления, так как предусмотрена автоматическая коррекция дрейфа нуля.

Малые габаритные размеры, потребляемая мощность, универсальность прибора делают его очень удобным для проведения регламентных, ремонтных и регулировочных работ в самых различных областях науки и техники, где используется радиоэлектронная аппаратура. По техническим характеристикам вольтметр В7-20 заменяет прибор ВК2-6.

Вольтметр универсальный В7-21

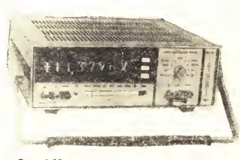


Рис. 1.83.

Вольтметр (рис. 1.83) предназначен для измерения напряжения и силы постоянного тока

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 1 мкВ—500 В на пределах 10—100 мВ—1—10—100—500 В

Входное сопротивление, МОм	Пределы измерения напряжения, В
1000	0,01—0,1—1
10	10—100—500

Время измерения напряжения:
60 мс на пределах 100 мВ—500 В,
600 мс на пределах 10 мВ

Диапазон измерения $1 \cdot 10^{-11}$—5 А на пределах 100 нА — 1 — 10 — 100 мкА —1—10—100 мА — 1—5 А, при 5 А используется внешний шунт

Время измерения тока:
60 мс на пределах 1 мкА —5 А,
600 мс на пределе 100 нА

Относительная погрешность измерения напряжения

$$\pm(0{,}2+0{,}02\ U_к/U_x)\ \%$$

Относительная погрешность измерения тока

$$\pm(0{,}2+0{,}02\ I_к/I_x)\ \%$$

Подавление помехи последовательного вида не менее 60 дБ на частоте 50 Гц±0,5 Гц

Подавление помехи общего вида не менее 140 дБ на частоте 50 Гц и на постоянном токе при переменном напряжении 380 В и постоянном напряжении 500 В

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 40 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры

408×142×413 мм

Масса 12 кг

Принцип работы прибора В7-21 (рис. 1.84) основан на методе преобразования величины постоянного напряжения в пропорциональную ей частоту импульсов и дальнейшего преобразования во временной интервал.

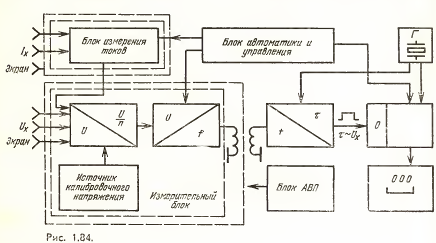


Рис. 1.84.

Преобразователь напряжение — частота состоит из двух управляемых *LC*-генераторов, смесителя и выходного усилителя. В качестве управляемой емкости контуров генераторов используются варикапы, на которые подаются напряжение смещения от устройства автоматической калибровки и управляющее напряжение, пропорциональное входному напряжению. При входном напряжении, равном нулю, частота на выходе преобразователя постоянна и равна 1 МГц ± 5%. В процессе измерения управляющее напряжение подается в два такта: сначала в одной полярности, затем в обратной. Выходные частоты генератора составляют соответственно $f_0+\Delta f$ и $f_0-\Delta f$. После преобразования выделяется сигнал, частота которого в зависимости от величины входного напряжения изменяется от 400 до 1600 кГц.

Преобразование частота — временной интервал осуществляется с помощью двух вспомогательных счетчиков с полной емкостью $4\cdot10^5$ единиц. На вход каждого из них подается частота, пропорциональная входному сигналу. Затем производится заполнение (досчет) счетчиков импульсами от кварцевого генератора частотой 4 МГц до их полной емкости. Импульсы переполнения счетчиков используются для формирования стробирующего импульса, длительность которого, пропорциональная входному напряжению, измеряется обычным образом.

Сила постоянного тока определяется путем измерения падения напряжения на точных токосъемных резисторах с помощью сменного блока измерения токов.

При использовании сменного блока измерения напряжений постоянного тока прибор превращается в двухканальный свип-генератор, выходы которого можно переключать органами управления на передней панели прибора или дистанционно.

Функциональные возможности прибора можно расширить, применяя сменные блоки, предназначенные для измерения переменного напряжения, тока, сопротивления и других величин.

Для удобства работы с прибором

предусмотрена автоматическая калибровка, установка нуля и автоматический выбор пределов измерения (АВП). Автоматическая калибровка осуществляется через каждые 6 с, т. е. один калибровочный цикл на сто измерительных циклов.

Автоматическое переключение на старший предел происходит при входном напряжении, большем 120% от предела измерения, и на младший при входном напряжении, меньшем 10% от предела измерения.

Определение и индикация полярности измеряемого постоянного напряжения производится также автоматически.

Вольтметр можно использовать как автономно, так и в составе автоматизированных систем управления и контроля, для чего предусмотрен режим дистанционного управления запуском прибора и вывод информации о результате измерения на регистрирующее устройство в цифровом коде.

Вольтметр запускается импульсами отрицательной полярности амплитудой 3 В, с периодом следования 60 мс (600 мс на пределах 10 мВ и 100 нА).

Информация о результате измерения выдается в двоично-десятичном коде 8-4-2-1, потенциальные логические уровни «1» и «0» соответственно равны +2 и +0,3 на нагрузке 10 кОм.

Вольтметр универсальный цифровой В7-22

Вольтметр (рис. 1.85) предназначен для измерения постоянного и среднеквадратического значений переменного напряжения, силы постоянного и переменного токов, а также сопротивления.



Рис. 1.85.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения постоянного напряжения 1 мВ—1000 В на пределах 0,2—2—20—200—1000 В

Входное сопротивление при измерении постоянного напряжения:

100 МОм на пределах 0,2—2 В,
10 МОм на пределах 20—1000 В

Входное сопротивление при измерении переменного напряжения 10 МОм

Входная емкость 100 пФ

Диапазон измерения переменного тока 0,01—2000 мА на пределах 0,2—2—20—200—2000 мА

Диапазон измерения постоянного тока 0,1 мкА—2000 мА на пределах 0,2—2—20—200—2000 мА

Диапазон измерения переменного напряжения 10 мВ—300 В на пределах 0,2—2—20—200—2000 В

Диапазон частот, кГц	Пределы измерения переменного напряжения, В
$45\cdot10^{-3}$—100	0,2—2
$45\cdot10^{-3}$—10	20—200—2000

Диапазон частот при измерении переменного тока 45 Гц — 10 кГц

Диапазон измерения сопротивления 0,1 Ом—2000 кОм на пределах 0,01—0,2—2—200—2000 кОм

Время измерения: 2 с при измерении постоянных напряжения и тока, 5 с при измерении переменных напряжения и тока, 2—3 с при измерении сопротивления

Подавление помех последовательного вида частотой 50 ± 0,5 Гц и напряжением, меньшем 20% от значения предела измерения напряжения, 40 дБ

Подавление помех общего вида частотой 50 ± 0,5 Гц и напряжением менее 200% от значения конечного предела измерения напряжения 100 дБ

Относительная погрешность при измерении постоянного напряжения, %	Пределы измерения постоянного напряжения, В
$\pm(0{,}1+0{,}15U_{к}/U_x)$	0,2—1—20—200
$\pm(0{,}1+0{,}3\,U_{и}/U_x)$	1000

Относительная погрешность при измерении постоянного тока, %	Пределы измерения постоянного тока, мА
$\pm(0{,}2+0{,}2I_{и}/I_x)$	0,2—2—20—200
$\pm(0{,}3+0{,}2I_{к}/I_x)$	2000

Относительная погрешность при измерении переменного напряжения, %	Диапазон частот, кГц	Пределы измерения напряжения, В
$\pm(0{,}5+0{,}3A)$	$45\cdot10^{-3}$—20	0,2—2
$\pm(4+0{,}5A)$	20—100	0,2—2
$\pm(0{,}5+0{,}5A)$	$45\cdot10^{-3}$—1(	20—200
Здесь $A=U_{к}/U_x$		

Относительная погрешность при измерении переменного тока

$$\pm(0{,}5+0{,}5I_{к}/I_x)\ \%$$

Относительная погрешность при измерении сопротивления, %	Пределы измерения сопротивления, кОм
$\pm(0{,}2+0{,}2R_{к}/R_x)$	0,2—200
$\pm(0{,}3+0{,}2R_{и}/R_x)$	2000

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220±11 В

Потребляемая мощность 10 ВА

Условия эксплуатации: температура от — 10 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры

215×65×170 мм

Масса 1,9 кг

Принцип действия прибора (рис. 1.86) основан на преобразовании измеряемой величины в пропорциональный интервал времени методом двойного интегрирования с последующим измерением этого интервала.

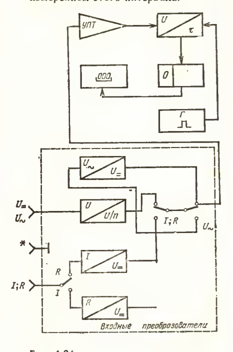


Рис. 1.86.

Операции выбора предела измерения и калибровка — ручные, выбора и индикации полярности — автоматические. Прибор имеет индикацию перегрузки и защиту по входу. Основные технические характеристики прибора сохраняются без регулировки нуля в течение 24 ч.

Дополнительная погрешность измерения при изменении температуры окружающего воздуха не превышает половины основной погрешности на каждые 10° С изменения температуры при измерении напряжения и тока и основной погрешности при измерении сопротивления. Входной ток в режиме измерения напряжения на поддиапазонах 0,2—2 В не превышает 2 нА.

Величина тока через измеряемое со-

противление не более 1 мА на пределах 0,2—2 кОм; 10 мкА на пределах 20—200 кОм и 1 мкА на пределе 2000 кОм.

При измерении больших значений напряжений ($U_= = 1000$ В и $U_\sim = 300$ В) используются специальное гнездо и высоковольтные измерительные щупы.

При измерениях переменного напряжения и тока следует учитывать, что прибор индицирует среднеквадратическое значение. Это соблюдается только для гармонических синусоидальных сигналов; при другой форме входного сигнала имеет место дополнительная погрешность, равная 1,5—3,5% при коэффициенте гармоник 5—10%.

Вольтметр выполнен с применением интегральных микросхем и отличается высокой эксплуатационной надежностью, малыми габаритными размерами, массой и потребляемой мощностью. По техническим характеристикам он заменяет цифровые вольтметры ВК2-6, В2-9, ВК2-17, ВК7-10А, В7-11, стрелочные вольтметры В3-10А, В3-23, В3-34, В3-35, М491, М493, комбинированные приборы Ц4311, Ц4312.

Вольтомметр цифровой ВК7-10А/1

Вольтомметр (рис. 1.87) предназначен для измерения постоянного и переменного напряжений и величины сопротивления.

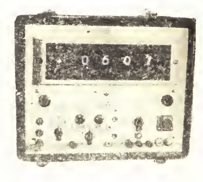


Рис. 1.87.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения постоянного напряжения 1 мВ—1000 В на пределах 10—100—1000 В

Входное сопротивление при измерении постоянного напряжения:

1 МОм на пределе 10 В,

3,6 МОм на пределах 100—1000 В

Диапазон измерения переменного напряжения 10 мВ—1000 В на пределах 10—100—1000 В

Диапазон частот при измерении переменного напряжения 20 Гц — 20 кГц

Входное сопротивление при измерении переменного напряжения 1 МОм

Входная емкость 150 пФ

Диапазон измерения сопротивления 0,1 Ом—1 МОм на пределах 1—10—100 КОм—1 МОм

Время измерения: 30 мс при измерении постоянного напряжения; 10 с при измерении переменного напряжения

Относительная погрешность при измерении постоянного напряжения

$$\pm(0{,}1+0{,}01U_к/U_x)\,\%$$

Относительная погрешность при измерении переменного напряжения, %	Пределы измерения переменного напряжения, В
$\pm(0{,}2+0{,}02U_к/U_x)$	10
$\pm(1+0{,}02U_к/U_x)$	100—1000

Относительная погрешность при измерении сопротивления

$$\pm(0{,}3+0{,}02R_к/R_x)\,\%$$

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 145 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры
380×320×370 мм
Масса 25 кг

Принцип работы прибора основан на время-импульсном преобразовании напряжения постоянного тока в пропорциональный интервал времени, с последующим измерением длительности этого интервала (рис. 1.88).

Напряжение переменного тока при измерении предварительно преобразуется в постояное с помощью детектора средневыпрямленного значения. Для получения цифровых показаний в единицах среднеквадратического значения напряжения оно умножается на коэффициент 1,11. Этот метод перевода в среднеквадратические значения переменного напряжения справедлив при гармонической форме входного сигнала. Если форма напряжения искажена, то прибор измеряет 1,11 $U_{св}$. Время усреднения около 10 с.

Вольтомметр ВК7-10А/1 (рис. 1.88) является быстродействующим электронным цифровым прибором. Определение и индикация полярности при измерении постоянного напряжения производятся автоматически. Технические характеристики гарантируются после прогрева прибора в течение 1 ч, установки нуля и калибровки.

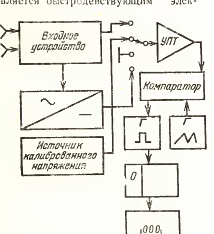


Рис. 1.88.

Измерение сопротивлений осуществляется путем преобразования величины активного сопротивления в пропорциональное напряжение постоянного тока. Для этого во входном устройстве используется источник стабильного тока. Падение напряжения на измеряемом сопротивлении подается на вход УПТ.

Конструктивно вольтомметр ВК7-10А/1 представляет собой настольный переносный прибор в одном футляре. Его узлы смонтированы в отдельных блоках, соединяющихся с шасси прибора разъемами. Для удобства сборки, осмотра и ремонта блок счетных декад выполнен в виде отдельного узла, который можно вынуть не извлекая из футляра весь прибор.

Длительность цикла измерения устанавливается с помощью расположенного на передней панели плавного регулятора в пределах 0,1—5 с. Цикл измерения можно синхронизировать с внешним процессом. Пусковые сигналы должны представлять собой импульсы положительной полярности, амплитудой 20 В с частотой повторения до 200 Гц. Возможен ручной пуск нажатием кнопки «Внешний пуск».

Прибор обеспечивает выдачу информации на цифровое регистрирующее устройство в параллельном двоично-десятичном коде 8-4-2-1. Нулевому логическому уровню соответствует нуль напряжения, логическая «1» передается уровнем — 5 В на нагрузке 5 кОм.

Вольтомметр обеспечивает непрерывную работу в течение 8 ч и может применяться как автономно, так и в системах контроля и управления.

Вольтомметр может быть использован для поверки стрелочных измерительных приборов. По техническим характеристикам заменяет прибор ВК7-10

Электрометр постоянного тока ВК2-16

Электрометр (рис. 1.89) предназначен для измерения и усиления постоянных напряжений, токов и величины малых электрических зарядов.

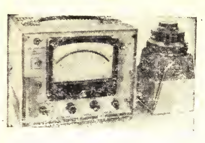


Рис. 1.89.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 100 мкВ—30 В на пределах 1—3—30—10—100—300 мВ—1—3—10—30 В

Входное сопротивление при измерении напряжения 10^{16} Ом

Входная емкость 30 пФ

Диапазон измерения тока $1 \cdot 10^{-16}$—$3 \cdot 10^{-7}$ А (18 пределов в последовательности 1—3—10 и т. д)

Время измерения тока 6 с, на пределе 10^{12} Ом 10 или 60 с

Относительная погрешность при измерении напряжения $\pm 2{,}5\%$ (4% на пределе 1 мВ)

Относительная погрешность при измерении тока $\pm 1 \cdot 10\%$

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0{,}5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 35 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20°С

Габаритные размеры

270×230×230 мм,

выносная головка 130×130×230 мм

Масса прибора с выносной головкой 14 кг

Принцип работы прибора (рис. 1.90) заключается в следующем. Измеряемое постоянное напряжение поступает на входное устройство, где преобразуется в переменное напряжение частотой 300 Гц, усиливается предварительным и основным усилителем и затем детектируется синхронным детектором, на выходе которого включен отсчетный прибор.

Преобразователь и предварительный усилитель находятся в выносной измерительной головке. Основное усиление осуществляется усилителем, расположенным в базовом блоке прибора.

Все устройство охвачено глубокой отрицательной обратной связью по напряжению. В цепи обратной связи включен делитель напряжения, с помощью которого выбираются пределы измерения.

В качестве преобразователя используется динамический конденсатор ДРК-3, возбуждаемый специальным генератором на частоте 300 Гц. Входное устройство включает в себя также измерительные резисторы 10^8, 10^{10}, 10^{12} Ом, которые используются при измерении тока, и конденсатор емкостью около 100 пФ для измерения тока методом заряда накопительного конденсатора.

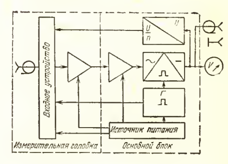


Рис. 1.90.

Выносная головка имеет форму параллелепипеда с рабочими положениями в вертикальной и горизонтальной плоскостях и состоит из трех отсеков. Верхний отсек — входное устройство — содержит измерительные резисторы, накопительный конденсатор, управляющий ими переключатель и реле. В среднем отсеке расположены переходные элементы и цепи управления реле, в нижнем — динамический конденсатор и предварительный усилитель. Выносная измерительная головка герметизирована для исклю-

чения попадания влаги и пыли на высокоомные цепи. Все детали верхнего отсека имеют золотое покрытие. Для уменьшения паразитных токов все изоляторы изготовлены из высококачественного изоляционного материла (эскапона), отполированы и тщательно очищены.

Входной переключатель коммутируется специальным подвижным кольцом. В среднем отсеке имеются клеммы заземления корпуса и обратной связи, а также разъем для подключения соединительного кабеля. Верхняя часть головки, закрываемая специальной крышкой, с помощью резьбового соединения может подключаться к ионизационным камерам и другим объектам измерения.

При измерении напряжения на объектах, внутреннее сопротивление которых меньше 10^{10} Ом, выносная головка подключается к объекту после установки нуля и величина измеряемого напряжения отсчитывается на любом выбранном пределе измерения. Если же внутреннее сопротивление объекта более 10^{10} Ом, то необходимо вначале подключить головку к объекту, снять напряжение с объекта и установить электрический нуль прибора и лишь после этого подать напряжение и произвести отсчет. При этом необходимо учитывать реальную чувствительность прибора по току, которая составляет $(4-5)\cdot10^{-17}$А. При внутреннем сопротивлении источника напряжения 10^{14} Ом проводить измерения на пределах 1,3 и 10 мВ невозможно, так как паразитные токи, возникающие во входных цепях электрометра, будут создавать заряды, превышающие уровень измеряемого напряжения.

Если невозможно снять напряжение с объекта, от него необходимо отключить измерительную головку. При замкнутом входе необходимо установить нуль прибора и лишь после этого открыть вход и подключить объект. Отсчет следует производить спустя некоторое время после полного установления показаний прибора, которое на младших пределах при внутреннем сопротивлении объекта больше 10^{10} Ом может достигать нескольких часов.

При измерении токов, создаваемых ионизационными камерами, для компенсации фонового тока камеры необходимо установить нуль прибора при подключенной к камере головке и при отсутствии напряжения питания камеры.

При измерении тока по заряду накопительного конденсатора с помощью секундомера определяется время, в течение которого напряжение на конденсаторе достигает значения установленной шкалы. При расчете величины тока следует учитывать емкость источника тока и реальную входную емкость прибора, которая приведена в паспорте.

Усилитель электрометра имеет выход на самопишущий прибор или цифровой вольтметр постоянного тока. Выходное напряжение равно 10 мВ при входном напряжении, равном конечному значению любого выбранного предела.

Вольткилоомметр цифровой ВК2-17

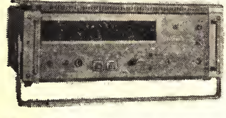


Рис. 1.91.

Вольткилоомметр (рис. 1.91) предназначен для измерения напряжения постоянного тока и активного сопротивления.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения постоянного напряжения 1 мВ—1000 В на пределах 2—20—200—1000 В

Пределы измерения напряжения, В	Входное сопротивление, МОм
2	0,18
20	1
200, 1000	10

Диапазон измерения сопротивления 0,01—2000 кОм на пределах 20—200—2000 кОм

Время измерения 1,5 с

Относительная погрешность при измерении постоянного напряжения

$$\pm(0{,}15+0{,}05U_к/U_x)\ \%$$

Относительная погрешность при измерении сопротивления

$$\pm(0{,}2+0{,}05R_к/R_x)\ \%$$

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+21}_{-12} Гц, напряжением 115 (220) В ±5%

Потребляемая мощность 85 ВА

Условия эксплуатации: температура от —30 до +50° С, относительная влажность до 98% при +40° С

Габаритные размеры

562×240×465 мм

Масса 23 кг

Принцип работы прибора (рис. 1.92) основан на методе кодоимпульсного преобразования напряжения. Измеряемое напряжение через делитель подается на вход нуль-органа, на который после определения полярности измеряемого напряжения поступает компенсирующее напряжение противоположной полярности через звездообразный потенциометр с программным управлением. Нуль-орган сравнивает эти два напряжения и выдает информацию об их соотношении в виде управляющего импульса на блок автоматики. При уравновешивании токов, обусловленных измеряемым и компенсирующим напряжением, напряжение на входе нуль-органа отсутствует и соответствующее положение звездообразного потенциометра фиксируется с помощью реле, комбинация включения которых индицируется в десятичной системе.

Измерение сопротивлений производится мостовым методом. Измеряемое сопротивление включается в одно плечо моста, противоположное плечо образует звездообразный потенциометр, включенный реостатом. Равновесие моста контролируется нуль-органом, выходные сигналы которого через блок автоматики управляют величиной сопротивления звездообразного потенциометра.

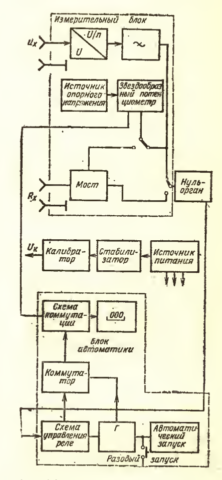


Рис. 1.92.

Пределы измерения выбираются как вручную, так и автоматически. При ручном выборе на вход прибора подключается фильтр с ослаблением не менее 20 дБ на частоте 50 Гц для уменьшения влияния сетевых помех

на измерение сигнала. При измерении сопротивлений выбор предела осуществляется только автоматически.

Прибор можно калибровать при помощи внутреннего источника калибровочного напряжения.

Запуск измерения производится вручную или автоматически. В первом случае время измерений можно плавно менять в пределах 5—30 с. Прибор может управляться дистанционно. При напряжении менее 300 В предел измерения устанавливается автоматически. Запуск прибора также осуществляется дистанционно.

Предусмотрен режим работы с внешним регистрирующим устройством, для чего на задней панели прибора имеется соответствующий разъем. Информация о полярности, пределе и результате измерения выдается в двоично-десятичном коде с весами 8-4-2-1 и логическими потенциальными уровнями «0» и «1», равными −(0—0,5) В и −(11—23) В соответственно.

Сигналы команды «Печать» выдаются в виде напряжения — 23 В.

Вольткилоомметр ВК2-17 можно использовать в системах автоматического контроля радиоэлектронного оборудования. Совместно с цифропечатающим или другим регистрирующим устройством его можно применять для непрерывного документального контроля напряжения постоянного тока и сопротивления. По техническим характеристикам вольткилоомметр ВК2-17 заменяет приборы ВК2-6, В2-9.

Вольтамперметр электронный цифровой ВК2-20

Вольтамперметр (рис. 1.93) предназначен для измерения постоянного напряжения и силы постоянного тока.

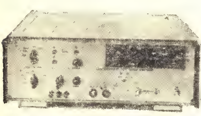


Рис. 1.93.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 1 мкВ—200 В на пределах 2—20—200 мВ—2—20—200 В

Пределы измерения напряжения, В	Входное сопротивление, МОм
2	100
0,2; 20; 200	10
$2\cdot10^{-3}$; $20\cdot10^{-3}$	1

Диапазон измерения силы тока 10^{-10} — 2 А на пределах 0,2—2—20—200 мкА —2—20—200 мА —2 А

Время измерения тока 40 мс

Относительная погрешность измерения напряжения, %	Пределы измерения напряжения, В
$\pm(0,2+0,05U_к/U_x)$	$20\cdot10^{-3}$—200
$\pm(0,3+0,1U_к/U_x)$	$2\cdot10^{-3}$

Относительная погрешность измерения силы тока, %	Пределы измерения силы тока, мкА
$\pm(0,2+0,05I_к/I_x)$	$2—2\cdot10^{6}$
$\pm(0,3+0,1I_к/I_x)$	0,2

Подавление помехи последовательного вида частотой 50±0,5 Гц не менее 60 дБ на всех пределах при переменном напряжении до 1,05 $U_к$

Подавление помехи общего вида частотой 50±0,5 Гц не менее 120 дБ, на постоянном токе не менее 140 дБ при постоянном напряжении до 500 В

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 60 ВА
Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 90% при +25° С
Габаритные размеры
480×160×360 мм
Масса 20 кг

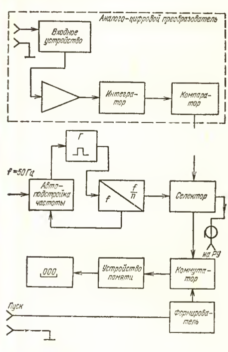


Рис. 1.94.

Прибор (рис. 1.94) представляет собой время-импульсный электронный цифровой вольтметр с предварительным интегрированием входного сигнала за время, равное периоду изменения напряжения сети (20 мс). Благодаря этому сильно ослабляется влияние помех от сети, а также высокочастотных шумов и наводок. Высокая разрешающая способность при измерении напряжения и токов ($U_к$/2000) достигается за счет применения во входном устройстве магнитного модулятора.

Помехи общего вида ослабляют, выбирая специальную конструкцию прибора: выделенная конструктивно аналоговая часть электрически не связана с базовым шасси прибора. Благодаря этому становятся возможны измерения с незаземленными источниками. Прибор допускает три схемы включения:

1. При заземленном источнике измеряемого сигнала общий провод

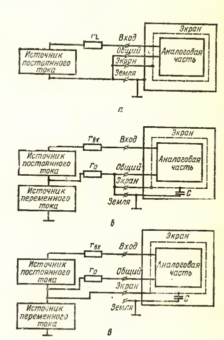


Рис. 1.95.

входной цепи, экран и земля (корпус прибора) соединяются вместе (рис. 1.95, *а*). Напряжение на общем проводе равно нулю.

2. Источник измеряемого сигнала не заземлен (рис. 1.95, *б*) и находится под переменным напряжением помехи относительно земли (помеха общего вида). В этом случае напряжение между входным и общим проводом равно напряжению источника, за вычетом падения напряжения на сопротивлениях соединительной линии. Подавление помехи в этом случае составляет 130 дБ при сопротивлении линии 1 кОм.

3. Источник помехи общего вида доступен и допускает соединение с

ним экрана (рис. 1.95, *в*). Подавление помехи составляет более 140 дБ. Такое подсоединение, если оно возможно, является наиболее предпочтительным.

В приборе предусмотрен выход на цифропечатающее устройство (ЦПУ). Вывод результата осуществляется в двоично-десятичном коде 8-4-2-1. Количество разрядов равно 14 плюс знаковый разряд. Величины напряжения логических уровней «0» и «1» составляют 0 и —10 В соответственно.

В режиме внешнего запуска прибором можно управлять дистанционно. Импульсы запуска должны иметь положительную полярность и амплитуду не менее 5 В. Частота их следования не более 25 Гц и длительность фронта не более 0,5 мкс.

Вольтамперметр ВК2-20 можно использовать автономно, а также в составе систем автоматического контроля радиоэлектронного оборудования.

* * *

Номенклатура цифровых измерителей напряжений и токов в настоящее время довольно быстро расширяется. Поэтому в дополнение к описанным измерительным приборам в табл. 1.1 и 1.2 приведены сведения о других универсальных цифровых измерителях напряжений и токов. Некоторые из них, например Ф220/1—Ф220/5, Ф204/1—Ф204/4, конструктивно оформлены в виде щитовых приборов.

Таблица 1.1

Цифровые вольтметры постоянного тока

Тип	Технические характеристики				
	пределы измерения, В	погрешность, %	входное сопротивление, МОм	разрешающая способность, мкВ	быстродействие, изм/с
Ф200/1	10	0,5	0,1	10^3	1—3
Ф200/2	100	0,5	0,02	10^3	1—3
Ф200/3	1000	0,5	0,2	10^3	1—3
Ф203	1	0,2	10	10^3	до 1000
	10—100		1		
Ф204/1	1	0,2	1	10^3	1—3
Ф204/2	10	0,2	1	10^3	1—3
Ф204/3	100	0,2	1	10^3	1—3
Ф204/4	1000	0,2	1	10^3	1—3
Щ1312	1,6—16—160	$0{,}15A$	1	10^3	50
	500	$0{,}5A$			
Щ1412	1	$0{,}03+0{,}02A$	1000	10^2	50
	10—100—1000		10		
Щ1512	1	$0{,}008+0{,}002A$	1000(10)	10	2
	10—100—1000	$0{,}013+0{,}002A$	10		
Щ1513	0,3	$0{,}015+0{,}01A$	1000	10	50
	3	$0{,}01+0{,}005A$	10		
	30—300—1000	$0{,}015+0{,}005A$	10		

Примечания:

1. Приборы типов Ф200 и Ф204—щитовые.
2. Погрешность измерения дана для температуры окружающей среды 20±1°С и относительной влажности до 80%.
3. $A=U_н/U_x$.

Таблица 1.2

Тип прибора	Измеряемая величина	Технические характеристики					
		пределы измерения	диапазон частот, Гц	погрешность, %	входное сопротивление, МОм	разрешающая способность	быстродействие изм/с
Р385	$U_=$	0,1—1—10—100—1000 В		0,05+0,02 A	10	10 мкВ	1—25
	$I_=$	0,1—1—10—100—1000 мА		0,06+0,04 B	—	10 нА	
	$U_\sim$	1—10—100—300 В	45—20000	0,1+0,1 A	1	100 мкВ	
	$I_\sim$	1—10—100—1000 мА	45—20000	0,3+0,2 B	—	1 мкА	
	R	0,1—1—10—100 кОм		0,06+0,04 C	—	0,01 Ом	
		1—10 МОм					
Р387	$U_=$	0,1 В		0,2	$2 \cdot 10^3$	10 мкВ	2
		1В		0,01+0,02 A	$20 \cdot 10^3$		
		10—100—1000 В		0,03+0,02 A	10		
	$I_=$	0,1—1—10—100—1000 мА		0,2	—	10 нА	
	R	0,1—1—10—100 кОм		0,03+0,02 C	—	0,01 Ом	
		1—10 МОм		0,08+0,02 C	—		
Ф485	U	0,1—1—10—100—1000В	45—20000	0,2	0,1	100 мкВ	1/6
Щ68000	$U_=$	0,01 В		0,08+0,02 A	10	1 мкВ	25
		0,1—1—10—100—1000 В		0,03+0,02 A			
	$I_=$	1 мкА		0,08+0,02 B	—	0,1 нА	
		10—100мкА—1—10—100—1000мА		0,03+0,02 B	—		
Ф 30	$U_=$	0,01—0,1—1—10—100—350 В		0,05+0,02 A	10—100	2 мкВ	7
	$I_=$	1—10—100 мкА					
		1—10 мА		0,1+0,02 B	—	0,1 нА	
	R	1—10—100—1000 кОм		0,1+0,02 C	—	0,1 Ом	
Ф220/1	$U_\sim$	1В	40÷5000	1	0,1	1 мВ	
Ф220/2	$U_\sim$	10В	40÷5000	1	0,1	10 мВ	
Ф220/3	$U_\sim$	100В	40÷5000	1	0,1	100 мВ	
Ф220/4	$U_\sim$	500В	50±5	1	0,1	1 В	
Ф220/5	$U_\sim$	1000В	50±5	1	0,1	1 В	

Примечания: 1. Погрешность измерения дана для температуры окружающей среды 20±1 °С и относительной влажности до 80%
2. $A=U_к/U_x$; $B=I_к/I_x$; $C=R_к/R_x$.

1.6. Измерители отношения напряжений. Измерители нестабильности и установки для поверки вольтметров. Измерительные системы

Измеритель нестабильности напряжений постоянного тока В8-1

Прибор (рис. 1.96) предназначен для измерения и автоматической регистрации результатов измерений встроенным самопишущим индикатором нестабильности выходных напряжений источников постоянного тока.

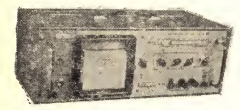


Рис. 1.96.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 0,1—1000 В на пределах 10—1000 В.

Входной ток:

10 мкА на пределе 10 В,

100 мкА на пределе 1000 В

Относительная погрешность измерения нестабильности, %		Пределы измерения напряжения, В
Диапазон	Пределы	
±(0,01—10)	0,01—0,03—0,1—0,3—1—3—10	1—1000
±(0,1—10)	0,1—0,3—1—3—10	0,1—10

Измеряемое напряжение, В	Время измерения, с	Погрешность измерения нестабильности, %
1—1000	6—60	±5
1—1000	>60	±(5—30)
0,1—10	6—60	±5
0,1—10	>60	±(5—20)

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 20 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры 528×220×300 мм

Масса 17 кг

В прибор встроен самопишущий миллиамперметр постоянного тока Н340-1. Основные характеристики самописца: запись показаний чернилами на ленточной диаграммной бумаге шириной 100 мм в криволинейных координатах. Привод ленты от синхронного двигателя со скоростью 20, 60, 180, 600, 5400 мм/ч.

Исследуемое напряжение через блок-контакт подается на делитель напряжения. Сопротивление верхнего плеча делителя предварительно устанавливается с помощью устройства коммутации таким, чтобы напряжение на выходе делителя отличалось от выходного напряжения опорного источника не более чем на 10%.

Разность указанных напряжений поступает на вход компенсационного милливольтметра. Последовательно переключая делитель, постепенно повышают чувствительность милливольтметра и сводят к нулю разность напряжений на любом пределе измерения; с этого момента ведется отсчет нестабильности исследуемого источника.

Прибор (рис. 1.97) позволяет измерять кратковременную нестабильность источников напряжения и медленные изменения (дрейф) их выходного напряжения. Исследуемое напряжение может быть любой полярности относительно полюса, соединенного с корпусом источника. Нестабильность напряжений источников, имеющих среднюю точку, соединенную с корпусом, измеряется относительно этой точки.

Прибор снабжен защитно-блокировочным устройством, которое отключает его от исследуемого источника при перегрузке в 1,2—1,4 раза от выбранного предела измерения, а также при отключении напряжения питания.

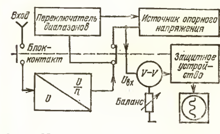


Рис. 1.97.

При измерениях кратковременной нестабильности прибор прогревается в течении 15 мин, балансируется при постепенном повышении чувствительности и подключается к предварительно обесточенному источнику напряжения. Процесс измерения нестабильности напряжения начинается после окончания установки на нуль указателя самописца на выбранном пределе измерения.

Измерение медленных изменений напряжения отличется тем, что время прогрева увеличивается до 1 ч и через каждый час работы следует устанавливать электрический нуль прибора. В этом случае можно проводить измерения нестабильности за промежуток времени до 8 ч. Рекомендуется, кроме прибора, прогреть и входной делитель, подав напряжение и сбалансировав прибор на пределе измерения, исключающем уход самописца за пределы шкалы в течение времени прогрева. Прогрев можно производить как исследуемым, так и любым другим источником напряжения.

Прибор может измерять нестабильность напряжений более 1 кВ, если оно подается через вспомогательный внешний делитель, снижающий величину напряжения до 1 кВ и менее.

В качестве делителей рекомендуется использовать резисторы с малым ТКС, так как при изменении температуры во время записи возникает погрешность от температурной нестабильности коэффициента деления. В качестве добавочных сопротивлений можно использовать внешние резисторы.

Прибор позволяет измерять нестабильность как электрических, так и неэлектрических параметров при условии, что их величина преобразуется с помощью специальных датчиков в электрический сигнал.

Измеритель нестабильности напряжений постоянного тока В8-3

Измеритель (рис. 1.98) предназначен для измерения нестабильности напряжений источников постоянного тока с автоматической регистрацией результатов измерения встроенным самопишущим индикатором и определения модуля полного внутреннего сопротивления этих источников.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 1 В—5 кВ

Величина входного тока 0,1 мА

Диапазон измерения нестабильности напряжения ±(0,01—10)% в пределах 0,01—0,03—0,1—0,3—1—3—10%

Погрешность измерения нестабильности напряжения 10%

Диапазон измерения модуля полного внутреннего сопротивления

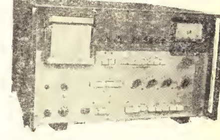


Рис. 1.98.

0,3—300 Ом на пределах 0,3—30—300 Ом.

Относительная погрешность измерения модуля полного внутреннего сопротивления 40%

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжение 220±22 В

Потребляемая мощность 180 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

490×296×495 мм

Масса 32 кг

В прибор встроен самопишущий миллиамперметр постоянного тока Н3100.

Структурная схема прибора приведена на рис. 1.99.

Рис. 1.99.

Исследуемое постоянное напряжение подается на делитель. С помощью переключателей, коммутирующих резисторы делителя, на резисторе *R* устанавливается падение напряжения, равное выходному напряжению источника опорного напряжения —1 В Возникающая в результате нестабильности исследуемого источника разность напряжений подается на УПТ прибора, усиливается и фиксируется на самопишущем индикаторе. Для уменьшения погрешности, возникающей при длительных измерениях из-за нестабильности делителя и источника опорного напряжения, выходной каскад последнего и делитель помещены в активный термостат с рабочей температурой 50±1° С, поддерживаемой с точностью 0,2° С при помощи датчика температуры, терморегулятора и нагревателя. Нагрузочное устройство прибора позволяет оценивать нестабильность напряжений источников с выходным напряжением 1,2—500 В при токе нагрузки 5—150 мА.

Устройство измерения модуля полного внутреннего сопротивления $|Z(\omega)|$ исследуемых источников позволяет определить зависимость этого параметра от частоты. В этом случае сигналы частотой 2—200 кГц, пропорциональные по напряжению величине $|Z(\omega)|$, преобразуются в постоянный ток, который подается на индикатор. Значения тока и модуля полного внутреннего сопротивления отсчитываются встроенным стрелочным индикатором, подключенным к соответствующей цепи. Защитно-блокировочное устройство предохраняет прибор от перегрузки и отключает исследуемый источник при 1,1—1,4-кратной перегрузке прибора, при неправильном включении полярности входного напряжения или при выключении сети.

Изменение температуры окружающей среды обуславливает появление дополнительной погрешности, составляющей половину основной погрешности на каждые 10° измерения температуры. Непосредственно перед измерением нестабильности надо производить установку электрического нуля и балансировку прибора. Необходимо помнить, что во избежание выхода из строя прибора калибровка производится при отключенном исследуемом источнике.

Исследуемое напряжение может иметь любую полярность относительно полюса, соединенного с корпусом источника. Нестабильность напряжений источников, средняя точка которых соединена с корпусом, измеряется относительно этой точки.

Измерение медленных изменений

напряжения отличается от измерения быстрых тем, что время прогрева увеличивается до 1 ч и через каждый час работы следует устанавливать электрический нуль прибора. В этом случае возможно проводить измерения нестабильности за промежутки времени до 8 ч. Рекомендуется, кроме прибора, прогреть и входной делитель, подав напряжение и сбалансировав прибор на пределе измерения, исключающем уход самописца за пределы шкалы в течение времени прогрева. Прогрев можно производить как исследуемым, так и любым другим источником напряжения.

Прибор позволяет измерять нестабильность напряжения и более 5 кВ, если оно подается через вспомогательный внешний делитель. Для этого делителя следует использовать резисторы с малым ТКС, так как при изменении температуры во время записи возникает погрешность от температурной нестабильности коэффициента деления.

Измеритель отношения напряжений В8-6

Измеритель (рис. 1.100) предназначен для измерения отношения и усиления малых напряжений переменного тока, поступающих в разное время, как, например, при работе с измерительными линиями, поляризационными камерами или другими источниками сигналов.

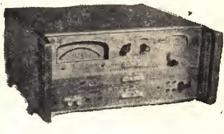


Рис. 1.100.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения отношения напряжений U_1/U_2 1—10000 на пределах 10—100—1000—10000

Диапазон измерения напряжения (для U_1 и U_2) 1 мкВ—10мВ

Диапазон частот 0,15—20 кГц

Относительная погрешность коэффициента усиления 3 дБ

Относительная погрешность измерения отношения напряжений 1,5—6%

Входное сопротивление 600 Ом±±2% на частоте 1 кГц

Уровень выходного сигнала 0,5 В на $R_н = 10$ кОм

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В, а также от батарей постоянного тока напряжением 12 В

Потребляемая мощность 5 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 90% при +30° С

Габаритные размеры

379×365×176 мм

Масса 13 кг

В основу работы прибора (рис. 1.101) положен метод корреляционного выделения полезного сигнала из шумов. Функции коррелятора выполняет фазовый детектор, а интегрирование осуществляется микроамперметром, обладающим достаточно большой постоянной времени.

Входной сигнал подается через две декады делителя на вход двух идентичных усилительных каналов. Синфазные напряжения, усиленные до одинакового уровня, поступают на входы фазового детектора. Шумы первых каскадов усилителей статистически независимы и не воспринимаются фазовым детектором, поэтому выходное напряжение последнего пропорционально произведению напряжений, поступающих на его входы.

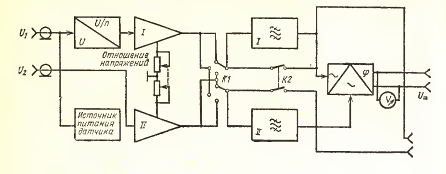


Рис. 1.101.

В зависимости от вида работы (измерения отношений или усиления напряжений) включение входных усилителей производится раздельно или параллельно переключателем *K1*.

Совпадающие во времени шумовые выбросы микроамперметром не регистрируются. Когда одновременно с полезным сигналом на вход прибора поступает внешняя помеха, входной сигнал усилителей можно подать на детектор через активные фильтры переключателем *K2*.

Отношения напряжений отсчитываются прецизионным отсчетным потенциометром, декадным делителем и микроамперметром.

Шкала отсчетного потенциометра проградуирована в относительных единицах от 1,00 до 10,0, и с нее считывается отношение напряжений относительно 1,00 шкалы при одном и том же положении стрелки микроамперметра. Затем показания шкалы микроамперметра умножаются на коэффициент примененного множителя. Прибор позволяет определять отношение напряжений и по шкале встроенного микроамперметра.

С выходов усилительных каналов сигнал через переключатель можно подать на фазовый детектор или через полосовые фильтры — на выходные гнезда. В качестве полосовых фильтров использованы звенья ФНЧ и ФВЧ второго порядка, включенные последовательно и позволяющие получить плоскую амплитудно-частотную характеристику. Крутизна затухания одного звена составляет 10—12 дБ на октаву. Фильтр на частоте 1 кГц имеет полосу пропускания 400 Гц, а фильтр на частоте 10 кГц имеет полосу пропускания 5 кГц при неравномерности в полосе пропускания не более ±3 дБ.

Параллельно микроамперметру подключено выходное гнездо прибора по постоянному току. Выходное напряжение на нем составляет 75 мВ на $R_н = 100$ кОм. Этот выход можно использовать для записи результата измерения с помощью самопишущих приборов.

Ко входу измерителя отношений напряжений В8-6 можно подключать различные датчики. При измерениях в диапазоне СВЧ прибор может работать с детекторами СВЧ и болометрами любых типов. Встроенный в прибор источник питания датчиков сигнала обеспечивает ток смещения для внешних детекторов 20—200 мкА или ток питания болометров 1—10 мА.

Прибор полностью собран на полупроводниках, имеет высокую чувствительность без настройки на частоту сигнала и хорошую помехозащищенность от модулированных СВЧ полей.

Его можно использовать и в качестве усилителя малых напряжений. По техническим характеристикам он заменяет усилитель У2-4.

Преобразователь напряжения В9-1

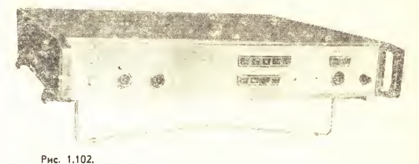


Рис. 1.102.

Преобразователь (рис. 1.102) предназначен для точного преобразования напряжений переменного тока в пропорциональное напряжение постоянного тока.

Основные технические характеристики

Диапазон преобразуемых напряжений 0,1 мВ — 150 В на пределах 0,1—1—10—100 В

Диапазон частот 10 Гц—1 МГц

Диапазон частот, кГц	Относительная погрешность измерения напряжения, %
$(10—30)\cdot 10^{-3}$	$2+A$
$(30—100)\cdot 10^{-3}$	$0,6+0,2A$
$0,1—100$	$0,3+0,2A$
$(0,1—1)\cdot 10^{3}$	$2+A$
Здесь $A=U_{к}/U_{вх}$	

Выходное напряжение 1 В на сопротивлении нагрузки 1 МОм ± ±20%

Выходное сопротивление 200 кОм ± ±5%

Входное сопротивление:
10 МОм на пределе 0,1 В,
1 МОм на пределах 1; 10; 100 В

Входная емкость 50 пФ

Время измерения 0,2 с; 0,5 с

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220±11 или 115±5,5 В

Потребляемая мощность 30 ВА

Условия эксплуатации: температура +5 до +40° С, относительная влажность до 98% при +30° С

Габаритные размеры
480×80×475 мм

Масса 15 кг

По принципу действия прибор (рис. 1.103) является преобразователем средневыпрямленных значений напряжений в напряжение постоянного тока. Уровень выходного напряжения преобразователя в 1 В установлен для гармонического сигнала, среднеквадратическое значение которого соответствует установленному пределу преобразования.

Преобразователь можно использовать как самостоятельно, так и в комплекте с цифровым вольтметром постоянного тока. Он снабжен блоком управления, который обеспечивает ручное и дистанционное переключение пределов, постоянной времени фильтра и рода работы, что необходимо при использовании его в автоматизированных режимах. Прибор может работать в режимах измерения переменного напряжения, трансляции постоянного напряжения, калибровки.

Входные и выходные сигналы преобразователя подаются на разъемы, расположенные как на передней, так и на задней панели прибора, что обеспечивает удобство использования его в измерительных системах стоечного исполнения.

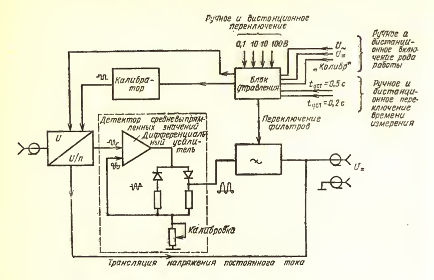


Рис. 1.103.

Надежная работа в условиях помех, поступающих через общую шину заземления приборов, обусловлена трехпроводиым входом и системой экранирования. В приборе предусмотрено переключение выходных фильтров. Это расширяет возможности его применения, обеспечивает низкий уровень напряжений пульсации (до 0,01+0,3%) при заданиом времени измерения, выбираемом в зависимости от частоты сигнала.

Высокая линейность преобразования прибора позволяет преобразовывать сигналы в диапазоне 0,1—150% от установленного предела преобразования.

На разъеме дистанционного управления прибора выдаются сигналы о включении того или иного рода работы и фильтра.

Все сигналы дистанционного управления и сигналы включения управляют электромеханическими реле (сухой контакт). Дополнительную возможность работы в режиме автоматического выбора пределов измерения обеспечивает совместное использование преобразователя В9-1 с универсальным цифровым вольтметром В7-18.

Преобразователь напряжения В9-1 применяется в автоматизированных измерительных системах контроля выходных параметров радиотехнических средств. С его помощью можно калибровать и поверять шкалы измерительной аппаратуры (вольтметров, генераторов сигналов, делителей напряжения), измерять амплитудно-частотные и амплитудные характеристики усилителей, аттенюаторов, детекторов.

Установка для поверки электронных вольтметров В1-4

Прибор (рис. 1.104) предназначен для поверки электронных вольтметров, милливольтметров и микровольтметров.

Основные технические характеристики

Диапазон выходного напряжения 10 мкВ—300 В (фиксированные зна-

чения ряда 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3)

Выходная частота: 55, 400, 1000 Гц±5%

Пульсации выходного напряжения постоянного тока ±0,05%.

Коэффициент гармоник не более 0,3% от значения выходного напряжения переменного тока

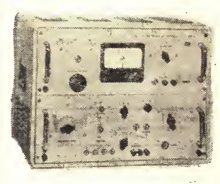


Рис. 1.104.

Относительная погрешность выходного постоянного напряжения $\pm(0{,}03U_{\text{вых}} + 3$ мкВ)

Относительная погрешность выходного переменного напряжения $\pm(0{,}005U_{\text{вых}} + 3$ мкВ)

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 270 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры
512×404×344 мм

Масса 38 кг

Установка (рис. 1.105) состоит из высокостабильного источника постоянного напряжения и источника переменного гармонического напряжения с малым коэффициентом гармоник.

В зависимости от вида выходного напряжения переключатель подключает тот или иной источник напряжения к блоку калибровки, содержащему ряд делителей и образцовый вольтметр. С помощью делителей на выходе устанавливается требуемая величина напряжения, которая контролируется образцовым вольтметром.

Источник переменного калибровочного напряжения имеет задающий RC-генератор на три фиксированные частоты и усилитель мощности.

Для стабилизации выходного напряжения в цепь обратной связи задающего генератора включен термистор.

Источник постоянного калибровочного напряжения состоит из двух стабилизаторов: электронного с выходным напряжением 300 В и полупроводникового с выходным напряжением 30 В. При работе установки на переменном токе выходное напряжение электронного стабилизатора остается неизменным и равным 360 В. В этом случае электронный стабилизатор используется для питания RC-генератора и УПТ.

Измерение уровня выходного напряжения установки основано на методе уравновешивания.

Система делителей напряжения позволяет получить выходные напряжения от 10 мкВ до 300 В. Для исключения погрешности выходных постоянных напряжений из-за паразитных термо-э. д. с. при напряжении 10 мкВ — 3 мВ применяется внешний

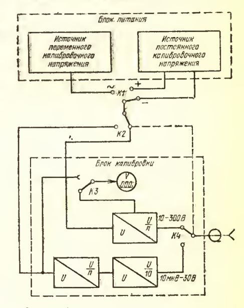


Рис. 1.105.

делитель ДН-107 с коэффициентом деления 1 : 1000 и максимально допустимым входным напряжением 3 В. Делитель с выходным сопротивлением 100,1 Ом и входным 100 кОм состоит из прецизионных проволочных резисторов и подключается к выходному гнезду установки. К выходным клеммам ДН-107 подсоединяется поверяемый микровольтметр постоянного тока. При этом необходимо учитывать, что после подключения микровольтметра к делителю при последующей поверке исключение ошибок из-за дополнительной термо-э. д. с. на выходных клеммах делителя возможно только в том случае, если установка электрического нуля микровольтметра произведена после 15-минутной паузы. Вообще, рекомендуется избегать возникновения разности температур между зажимами, прикосновения рук к зажимам, освещения их настольными лампами с расстояния ближе чем на 1 м, резких перемещений теплового или охлажденного воздуха.

Калибратор импульсных напряжений В1-5

Калибратор (рис. 1.106) является генератором импульсов точной амплитуды и предназначен для поверки и настройки импульсных устройств—осциллографов, амплитудных анализаторов, дискриминаторов, вольтметров.

Длительность фронта импульсоа, мкс, не более	Выходное напряженне, В
0,3 (при внешнем запуске)	до 10
0,5	до 100

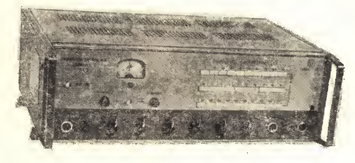


Рис. 1.106.

Основные технические характеристики

Диапазон выходного напряжения 0,1—100 В

Длительность импульса 1—1000 мкс (при внутреннем запуске устанавливается дискретно через 1; 10; 100 мкс)

Скважность не менее 300

Частота повторения импульсов 0,1—100 Гц (при внутреннем запуске устанавливается дискретно через 0,1; 1; 10 Гц)

Длительность спада импульсов не более 1,5 мкс

Выходное сопротивление не более 250 Ом

Сопротивление нагрузки не менее 100 кОм и емкость нагрузки менее 100 пФ

Относительная погрешность измерения напряжения 0,5% для сопротивлений нагрузки не менее 500 кОм

Относительная погрешность определения частоты не более 20%

Относительная погрешность опре-

деления длительности импульсов не более 20%

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 120 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

176×490×355 мм

Масса 20 кг

Работа прибора (рис. 1.107) основана на методе стабилизации амплитуды импульсов с помощью диодов

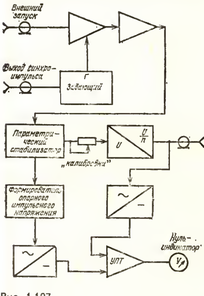


Рис. 1.107.

Зенера. Амплитуда выходных импульсов изменяется высокостабильными резисторными делителями напряжения.

Прибор имеет режимы внутреннего и внешнего запусков. При первом длительность и частота следования импульсов любой полярности определяется положением переключателя на передней панели прибора. Длительность импульсов в этом режиме может быть выбрана с дискретностью 1 мкс (при длительности до 10 мкс), 10 мкс (при длительности до 100 мкс), 100 мкс (при длительности до 1000 мкс). Частота повторения импульсов задается с дискретностью 0,1 Гц (при частоте до 1 Гц); 1 Гц (при частоте до 10 Гц); 10 Гц (при частоте до 100 Гц).

В режиме внешнего запуска прибор может работать от запускающих импульсов любой полярности амплитудой 2—10 В, длительностью 1—1000 мкс при частоте 0—1000 Гц. При этом частота следования и длительность выходных импульсов калибратора В1-5 определяются длительностью и частотой повторения запускающих импульсов.

В приборе имеется выход синхроимпульса положительной полярности амплитудой 10 В.

Калиброванные по амплитуде выходные импульсы прибора не имеют выбросов и неравномерностей на вершине, а также спада вершины.

Для увеличения точности в приборе предусмотрен режим калибровки. Напряжение опорного источника при необходимости можно проконтролировать внешним прибором. Калибратор используется для измерения переходных характеристик четырехполюсников, поверки вольтметров импульсного тока, настройки дискриминаторов, амплитудных анализаторов, контроля чувствительности пороговых устройств.

Наличие кнопочного управления выходной амплитудой резко повышает производительность труда при поверочных работах.

Установка для поверки вольтметров В1-6

Прибор (рис. 1.108) предназначен для определення погрешности электронных вольтметров.



Рис. 1.108.

Основные технические характеристики

Диапазон выходного напряжения 100 мкВ — 3000 мВ (фиксированные значения (1; 1,5; 2; 2,5; 3) $\cdot 10^n$ В, где $n = -4; -3; -2; -1; 0$)

Диапазон частот 10 Гц — 30 МГц (34 фиксированных значения)

Относительная погрешность выходного напряжения, %	Частота, кГц
± (0,2—2)	0,03—55
± (0,3—2,5)	0,02; 100—3·10³
± (0,5—3)	0,01; (5—30)·10³

Коэффицнент гармоннк 0,1—0,6% на частотах 55 Гц — 30 МГц

Выходное сопротивление 39 Ом

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220±11 В

Потребляемая мощность 100 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 90% при +30° С

Габаритные размеры 490×355×255 мм

Масса 30 кг

Установка (рис. 1.109) является источником переменных гармонических напряжений с высокой точностью установки амплитуды и малым коэффициентом гармоник. Частотный диапазон выходных напряжений перекрывается с помощью двух идентичных по принципу работы каналов: низкочастотного (10 Гц — 55 кГц) и высокочастотного (100 кГц—30 МГц). Источником низкочастотного сигнала служит генератор НЧ. Напряжение с него через управляемый делитель подается на усилитель, откуда через реле поступает на компаратор и выходные аттенюаторы. В компараторе происходит преобразование переменного напряжения в постоянное, сравнение преобразованного напряжения с опорным, поступающим от стабилизатора напряжения. Разность между опорным и преобразованным напряжением (сигнал ошибки) поступает на вход УПТ. Усиленный сигнал ошибки воздействует на управляемый делитель, изменяя его коэффициент деления. В результате переменное напряжение на входе компаратора

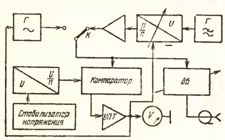


Рис. 1.109.

изменяется таким образом, что сигнал ошибки стремится к нулю. Показания микроамперметра, подключенного к выходу УПТ, пропорциональны напряжению сигнала ошибки.

В зависимости от выбранной частоты к компаратору и аттенюаторам подключается низкочастотный или высокочастотный канал. Высокочастотный канал работает аналогично, но сигнал ошибки воздействует непосредственно на генератор ВЧ.

Выходному напряжению установки, равному 300 мВ, соответствует номинальное опорное напряжение. В зависимости от положения выходных ат-

тенюаторов опорное напряжение отклоняется от номинального значения на величину, соответствующую систематической погрешности аттенюаторов в данном положении.

Напряжение, подаваемое на аттенюаторы, делится с их помощью от 3000 мВ до 0,1 мВ по ряду 1; 1,5; 2; 2,5; 3. Положения аттенюаторов «0мВ» и «×0» позволяют получить на входе поверяемых вольтметров напряжение, практически равное нулю, без отключения последних от установки. В этом положении выход установки закорочен.

При поверке вольтметров на пределах ниже 2,5 В следует учитывать дополнительную погрешность выходного напряжения установки, обусловленную входным сопротивлением и входной емкостью поверяемого вольтметра. В этом случае для определения погрешности поверяемого вольтметра необходимо к показанию установки прибавить эту дополнительную погрешность, определяемую по прилагаемым к установке графикам.

Установку можно использовать в качестве образцового источника переменных напряжений для градуировки и поверки электронных вольтметров, усилителей, осциллографов, генераторов и другой радиоаппаратуры.

Прибор для поверки вольтметров. постоянного тока В1-7

Прибор (рис. 1.110) используется как источник напряжений (ИКН), а также как измеритель напряжений постоянного тока и их нестабильности.

Основные технические характеристики

Источник калиброванных напряжений

Диапазон выходного напряжения 0—1000 В (дискретно через 100 мкВ, плавно 0—100 мкВ)

Относительная погрешность выходного напряжения, %	Выходное напряжение, В
$\pm(3\cdot10^{-5}\,U_{икн}+$ $+20$ мкВ)	0—20
$\pm(5\cdot10^{-5}\,U_{икн})$	20—1000

Дифференциальный вольтметр

Диапазон измерения входного напряжения 0,01—1000 В (с разрешающей способностью 10 мкВ до 1 В и $10^{-5}\,U_{икн}$, от 1 до 100 В)

Относительная погрешность измерения входного напряжения:

Дифференциальный вольтметр

$\pm(3\cdot10^{-4}U_{икн}+30$ мкВ) до 1 В,
$\pm(3\cdot10^{-4}U_{икн})$ для 1—1000 В

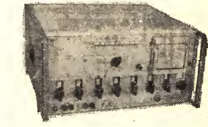


Рис. 1.110.

Измеритель нестабильности

Диапазон измерения нестабильности входного напряжения 0,01—1000 В (с разрешающей способностью 10 мкВ до 1 В; $10^{-5}\,U_{вх}$ от 1 до 1000 В)

Диапазон измерения нестабильности напряжения, мВ	Погрешность измерения нестабильности напряжения, В
до 0,1	$\pm(25\cdot10^{-6}+$ $+k_{II}\,U_{икн})$
свыше 0,1	$\pm(0,12A+k_{I})\cdot10^{-3}$ $\pm(0,12A+k_{II}\,U_{икн})$

Здесь A — предел измерения нуль-органа, в вольтах, $k_I \leqslant 0{,}05$ — коэффициент, учитывающий абсолютную нестабильность ИКН, $k_{II} \leqslant 6 \cdot 10^{-5}$ — коэффициент, учитывающий относительную нестабильность ИКН; $U_{\text{икн}}$ — напряжение источника калиброванных напряжений.

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 160 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры
490×255×500 мм

Масса 38 кг

основных характеристик прибора путем сравнения напряжений этих блоков, а во-вторых, значительно снизить требования к усилителю, входящему в состав ИКН.

Для работы ИКН с диапазоном выходных напряжений 0—1000 В и разрешающей способностью 2—5 мкВ необходим усилитель, к которому предъявляются следующие требования: он должен быть высокочувствительным для обеспечения разрешающей способности, а также обладать широкой полосой пропускания для подавления пульсаций питающего напряжения и большим коэффициентом усиления. Эти требования значительно усложняют схему усилителя и

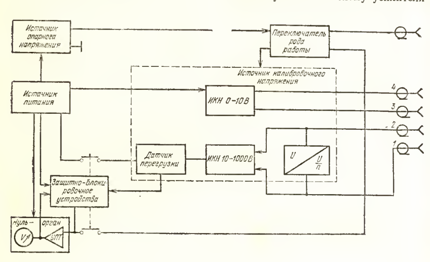


Рис. 1.111.

Основными функциональными узлами прибора (рис. 1.111) являются прецизионный высокостабильный источник калибровочных напряжений (ИКН) с регулируемым в широком диапазоне выходным напряжением и микровольтметр с высоким входным сопротивлением и широким динамическим диапазоном.

ИКН состоит из двух самостоятельных блоков с плавающими выходами 0—10 и 10—1000 В. Такое разделение позволяет, во-первых, проводить автономную поэлементную поверку (самоповерку) и самоконтроль

затрудняют наладку ИКН. При раздельных источниках ИКН 0—10 В, реализующий высокую разрешающую способность, можно выполнить на базе высокочувствительного, но узкополосного усилителя, а ИКН 10—1000 В — на базе широкополосного усилителя, но с невысокой чувствительностью. Кроме того, наличие двух автономных источников позволяет расширить эксплуатационные возможности прибора.

ИКН может служить непосредственно источником калиброванных напряжений или в сочетании с нуль-

органом образовывать дифференциальный вольтметр — компенсационное устройство измерения нестабильности. В первом случае калиброванные напряжения снимают с выходов прибора *1—4*, во втором — измеряемое напряжение подают на гнездо «Вход» (относительно корпуса прибора) и компенсируют (вручную) напряжением ИКН, постепенно повышая чувствительность нуль-органа. Отсчет показаний дифференциального вольтметра производится по положениям органов регулировки выходного напряжения ИКН (декадных переключателей) в момент полной компенсации измеряемого напряжения напряжением ИКН при максимальной разрешающей способности нуль-органа.

Показания измерителя нестабильности (в единицах напряжения) отсчитывают по диаграмме или шкале самопишущего выходного прибора нуль-органа после компенсации начального значения измеряемого напряжения до значения, позволяющего перейти на выбранный предел измерения.

С помощью прибора В1-7 можно производить поверку цифровых вольтметров, измерять коэффициент усиления и нелинейность усилителей постоянного тока, измерять и устанавливать коэффициенты передачи делителей, сравнивать сопротивления, а при наличии образцового резистора — измерять их и токи с высокой точностью, непосредственно измерять и записывать напряжения постоянного тока обеих полярностей.

По сравнению с измерителями нестабильности В2-7, В2-13, В8-1, В8-3 прибор для поверки вольтметров, дифференциальный вольтметр постоянного тока В1-7 отбирает меньший ток от объекта измерения и обладает более высокой точностью измерения номинальных значений напряжений, а также более широким диапазоном в области исследуемых напряжений.

Установка для поверки вольтметров В1-8

Устройство (рис. 1.112) предназначено для поверки аналоговых вольтметров постоянного и переменного токов и выдачи калиброванных напряжений.

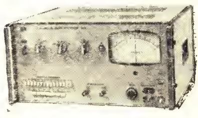


Рис. 1.112.

Основные технические характеристики

Диапазон выходных напряжений 10 мкВ — 300 В (фиксированные значения ряда 0,1; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9, 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3, а также отличающиеся от них на ±5 и ±10%)

Частота выходного переменного напряжения 45, 400 и 1000 Гц

Пульсации выходного постоянного напряжения 0,05%

Коэффициент гармоник выходного переменного напряжения 0,2%

Время установления выходного напряжения 0,05%

Рабочий ток	Относительная погрешность выходного напряжения, %
Постоянный	$\pm(0,2+0,0003/U_{вых})$
Переменный	$\pm(0,3+0,0003/U_{вых})$

Сопротивление нагрузки 100 кОм

Выходное сопротивление 150 Ом

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220±11 В

Потребляемая мощность 130 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 90% при +30° С

Габаритные размеры

498×255×475 мм

Масса 30 кг

Установка (рис. 1.113) является источником постоянных и переменных напряжений гармонической формы, величина которых устанавливается с высокой точностью при малом коэффициенте гармоник переменного и незначительных пульсациях постоянного напряжений.

Выходное напряжение переменного тока выдается в среднеквадратических, средневыпрямленных и максимальных значениях. Это позволяет проводить быструю поверку аппаратуры различного назначения.

Напряжение постоянного тока выдается любой полярности.

Шкала отсчетного прибора установки проградуирована в величинах отклонения выходного напряжения прибора от значения, указанного на соответствующем переключателе. Это позволяет быстро определить погрешность поверяемого прибора, не проводя никаких вычислений. Разрешающая способность отсчетного прибора составляет 0,1%.

Прибор применяется для поверки и регулировки вольтметров постоянного и переменного токов, усилителей, осциллографов и незаменим для поверочных и контрольных лабораторий, бюро по ремонту измерительных приборов, отделов технического контроля.

По техническим характеристикам он заменяет установку В1-4.

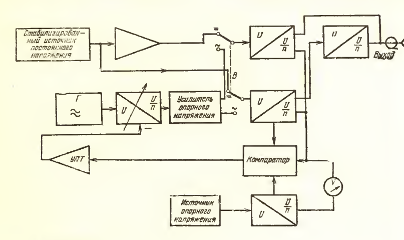


Рис. 1.113.

Список литературы

1. **Шляндин В. М.** Цифровые электроизмерительные преобразователи и приборы. М., «Высшая школа», 1975.
2. **Волгин Л. И.** Линейные электрические преобразователи для измерительных приборов и систем. М., «Советское радио», 1971.
3. **Грязнов М. И., Гуревич М. Л., Маграчев З. В.** Измерение импульсных напряжений. М., «Советское радио», 1969.



Глава 2

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

2.1. Общие сведения

Источники питания, выполненные в виде самостоятельных приборов общего применения, обеспечивают высокую точность поддержания выходного напряжения при изменении напряжения питающей сети, малое внутреннее сопротивление, низкий уровень пульсаций, а также позволяют изменять выходное напряжение в широких пределах.

Как правило, источники питания имеют специальные устройства для защиты от перегрузок и коротких замыканий, обеспечивающие сохранение работоспособности не только прибора, но и питаемого устройства при неправильном его включении, неисправности и т. п.

Рассматриваемые далее приборы выполнены по схеме компенсационного стабилизатора с последовательно включенным регулирующим элементом. Функциональная схема источника питания представлена на рис. 2.1.

Выходное напряжение или часть его, снимаемая с делителя, сравнивается с опорным. Усиленный разностный сигнал управляет регулирующим элементом, на котором падает избыточное напряжение.

Для повышения точности измерений выходной делитель выполняется, как правило, из прецизионных резисторов. Увеличение коэффициента передачи по переменной составляющей, обеспечивающее лучшее сглаживание пульсаций, осуществляется шунтированием конденсатором одного из плеч делителя.

В качестве опорного используется напряжение, снимаемое со стабилитрона, который питается от стабилизатора тока или напряжения. Для уменьшения температурной зависимости выходного напряжения приме-

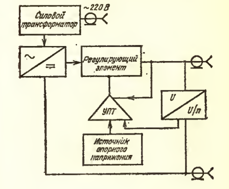


Рис. 2.1.

няют специальные меры: термокомпенсацию (последовательно с основным стабилитроном включают диоды в прямом направлении) или термостатирование (кроме опорного стабилитрона в термостат помещают первый каскад усилителя обратной связи).

Для снижения рассеиваемой мощности на регулирующем элементе используют устройства двойного регулирования (буферные каскады, в которых часть мощности выделяется на сопротивлениях, или устройства

предварительной стабилизации на тиристорах или магнитных элементах).

Усилитель обратной связи имеет малый дрейф нуля и высокий коэффициент усиления; для повышения устойчивости в его состав вводится ряд корректирующих звеньев. Некоторые отличия от изложенной схемы приведены при описании конкретных приборов.

Источники питания типа Б5-7—Б5-16, Б2-1—Б2-3 унифицированы по габаритным размерам и обеспечивают максимальные эксплуатационные удобства.

2.2. Источники переменного тока

Источник накальных напряжений Б2-1

Прибор (рис. 2.2) предназначен для питания радиоэлектронных и других устройств нерегулируемым стабилизированным напряжением переменного тока.

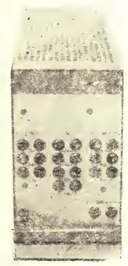


Рис. 2.2.

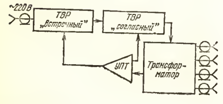


Рис. 2.3.

Выходное напряжение, В	Ток нагрузки, А
2,15; 2,5; 4; 5	5
6,3	18
220	1
6,3; 12,6; 25	2,5

Суммарная выходная мощность до 250 ВА

Относительная нестабильность выходного напряжения: менее $5 \cdot 10^{-3}$ при изменении напряжения сети на $\pm 10\%$, менее $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ при изменении нагрузки на 100%

Относительный температурный коэффициент напряжения $2 \cdot 10^{-4}\%/°C$

Коэффициент нелинейных искажений 15%

Питание от сети переменного тока частотой 50 ±0,5 Гц, напряжением 220 ± 22 В.

Потребляемая мощность 500 ВА

Условия эксплуатации: температура от −30 до +50° С, относительная влажность воздуха менее 98% при 40° С

Габаритные размеры

$$120 \times 200 \times 395 \text{ мм}$$

Масса 17 кг

Источник накальных напряжений выполнен по схеме компенсационного стабилизатора (рис. 2.3). Регулирующий элемент его состоит из двух вольтодобавочных трансформа-

торов (ТВР), регулируемых подмагничиванием. При этом обмотки трансформаторов соединены таким образом, что вторичное напряжение одного из них складывается с напряжением сети, а вторичное напряжение другого — вычитается. Величина напряжений изменяется при изменении тока подмагничивания трансформаторов, у которых обмотки постоянного тока являются коллекторными нагрузками дифференциального усилителя (УПТ).

При увеличении напряжения сети магнитная проницаемость встречного трансформатора уменьшается, а «согласного» — увеличивается, в результате чего выходное напряжение остается постоянным.

Особенностью прибора является то, что его выходные клеммы изолированы от корпуса.

Стабилизаторы напряжения сети Б2-2 и Б2-3

Приборы (рис. 2.4) предназначены для питания радиоэлектронных устройств стабилизированным напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

Основные технические характеристики

Выходное напряжение 220 В ±1,5%

Тип прибора	Б2-2	Б2-3
Выходная мощность, ВА	500	1000
Потребляемая мощность, ВА	550	1200
Масса, кг	17	20

Относительная нестабильность выходного напряжения: менее $5 \cdot 10^{-3}$ при изменении напряжения сети на 10%, менее $1,5 \cdot 10^{-2}$ при изменении нагрузки на 100%

Коэффициент нелинейных искажений до 10%

Питание от сети переменного тока частотой 50 ±0,5 Гц, напряжением 220 ±22 В

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность воздуха до 98% при +40° С

Габаритные размеры

120×200×395 мм



Рис. 2.4.

Схема приборов аналогична схеме источника накальных напряжений Б2-1. Для снижения коэффициента нелинейных искажений выходного напряжения применяют параллельный LC-фильтр.

Приборы допускают параллельную работу с однотипным стабилизатором на общую нагрузку.

2.3. Источники постоянного тока

Источники постоянного тока Б5-7 — Б5-10, Б5-25

Приборы (рис. 2.5) предназначены для питания радиоэлектронных устройств регулируемым стабилизированным напряжением постоянного тока.

Температурный коэффициент напряжения менее $2{,}5 \cdot 10^{-2}$%/°C

Питание от сети переменного тока частотой 50 ±0,5 Гц, напряжением 220 ±22 В



Рис. 2.5.

Основные технические характеристики

Тип прибора	Б5-7 (Б1-7)	Б5-8 (Б1-8)	Б5-9 (Б1-9)	Б5-10 (Б1-10)	Б5-25
Выходное напряжение, В	0—30	0—50	0—100	0—300	0—30
Ток нагрузки, А	3	2	1	0,3	0—2

Нестабильность выходного напряжения: менее $3 \cdot 10^{-2}$% при изменении напряжения сети на 10%, менее 10^{-1}% при изменении нагрузки на 100%

Эффективное значение напряжения пульсаций 1 мВ

Потребляемая мощность 150 ВА
Габаритные размеры

130×233×435

Масса 11 кг

Источники питания представляют собой стабилизаторы напряжения компенсационного типа с усилителем обратной связи и последовательно включенными регулирующими элементами, выполненными на транзисторах. Первые два каскада регулирующего элемента работают в буферном режиме для облегчения теплового режима транзисторов.

Для защиты приборов от перегрузок и коротких замыканий применяется специальное устройство с электромагнитным реле, отключающее выпрямитель основного стабилизатора от силового трансформатора и снимающее выходное напряжение с гнезд прибора.

Источники питания постоянного тока прецизионные Б5-11 (Б1-11)—Б5-13 (Б1-13)

Приборы (рис. 2.6) предназначены для питания радиоэлектронных устройств регулируемым стабилизированным напряжением постоянного тока.

Потребляемая мощность 160 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +30° С

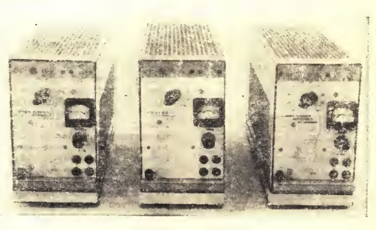


Рис. 2.6.

Основные технические характеристики

Тип прибора	Б5-11	Б5-12	Б5-13
Выходное напряжение, В	0—30	0—50	0—100
Ток нагрузки, А	1,5	1	0,5

Относительная погрешность выходного напряжения ±3%

Нестабильность выходного напряжения: менее $3\cdot10^{-3}$% при изменении напряжения сети на 10%, менее $15\cdot10^{-3}$% при изменении нагрузки на 100%

Эффективное значение напряжения пульсации 0,5 мВ

Температурный коэффициент напряжения не более $5\cdot10^{-3}$%/°С

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 220±10 В.

Габаритные размеры 130×233×435 мм

Масса 12 кг

Источники представляют собой стабилизированный выпрямитель компенсационного типа на полупроводниковых приборах с усилителем обратной связи. Маломощный вспомогательный стабилизатор напряжения служит для питания усилителя обратной связи, а также устройств управления термостатом и защиты. Для снижения температурного коэффициента выходного напряжения стабилитроны опорного напряжения и полупроводниковые приборы первых каскадов усилителя обратной связи помещены в активный термостат.

Прибор снабжен защитным устройством электронного типа с исполнительным элементом на электромагнитном реле, отключающим основной и вспомогательный стабилизаторы и выходное напряжение при перегрузках.

Выходные клеммы прибора изолированы от корпуса и позволяют заземлять цепи положительной и отрицательной полярностей. Выходные цепи можно соединить последовательно.

Источник постоянного тока Б5-24А

Прибор (рис. 2.7) предназначен для питания устройств с повышенными требованиями к стабильности питающего напряжения.

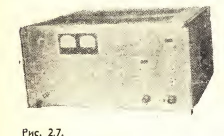


Рис. 2.7.

Основные технические характеристики

Выходное напряжение 200—4000 В, регулируемое дискретно и плавно

Ток нагрузки 5 мА

Нестабильность выходного напряжения: менее 10^{-2}% при изменении напряжения сети на 10%, менее $2 \cdot 10^{-2}$% при изменении нагрузки на 100%

Эффективное значение напряжения пульсаций 5 мВ

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 160 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до 35° С, относительная влажность 80% при +30° С

Габаритные размеры 500×490×260 мм

Масса 35 кг

Прибор (рис. 2.8) имеет две ступени стабилизации — предварительную и окончательную. В первой используется электромагнитный стабилизатор, во второй — электронный. Электромагнитный стабилизатор служит для питания электронного, состоящего из высоковольтного выпрямителя, регулирующей лампы и УПТ. Электронный стабилизатор работает по принципу последовательного регулирования. Для разделения цепей низкого и высокого напряжений применен управляемый генератор, что позволяет отделить УПТ от высокого потенциала катода регулирующей лампы и значительно упрощает конструктивное выполнение прибора.

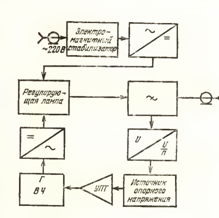


Рис. 2.8.

Прибор можно также использовать для питания счетчиков частиц, детекторов излучений, электроннолучевых трубок, фотоэлектронных умножителей.

Источники питания постоянного тока Б5-29—Б5-32

Приборы (рис. 2.9) предназначены для электропитания радиоэлектронных устройств.

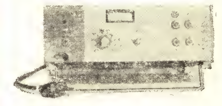


Рис. 2.9.

Основные технические характеристики

Тип прибора	Б5-29	Б5-30	Б5-31	Б5-32
Выходное напряжение, В	0—30	0—50	0—100	0—300
Ток нагрузки, А	0—2	0—1,2	0—0,6	0—0,2

Нестабильность выходного напряжения менее $3 \cdot 10^{-2}$% при изменении напряжения сети на 10%

Эффективное значение напряжения пульсаций 1 мВ

Температурный коэффициент напряжения менее 0,02%/° С

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 200 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +30° С

Габаритные размеры

240×156×91 мм

Масса 3,7 кг

Источники выполнены по схеме двухкаскадного компенсационного стабилизатора напряжения. Первый каскад представляет собой стабилизатор на управляемых кремниевых вентилях, в котором использован принцип фазоимпульсной модуляции.

Система управления включает генератор релаксационного типа на однопереходном транзисторе, управляемом сигналом с регулирующего элемента второго каскада стабилизации.

Второй каскад представляет собой линейный компенсационный стабилизатор с последовательно включенным регулирующим элементом и усилителем обратной связи, в качестве которого используется операционный усилитель, питаемый от вспомогательного стабилизатора компенсационного типа.

Выходное напряжение регулируется ступенями с плавным перекрытием между ними. Защита от перегрузки и коротких замыканий осуществляется электронной системой регулирования с индикацией перегрузки.

Источник постоянного тока Б5-33

Прибор (рис. 2.10) предназначен для питания коллекторных цепей маломощных ЛОВ, ЛБВ, митронов и других устройств.

Основные технические характеристики

Диапазон изменения выходного напряжения 50—1500 В

Нестабильность выходного напряжения менее $3 \cdot 10^{-2}$% при изменении напряжения сети на 10%

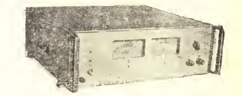


Рис. 2.10.

Ток нагрузки 100 мА
Напряжение пульсаций не более 10 мВ
Температурный коэффициент напряжения менее $25 \cdot 10^{-3}\%/°C$
Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В
Потребляемая мощность 500 ВА
Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность 80% при +30° С
Габаритные размеры
480×175×482 мм
Масса 25 кг

Источник выполнен на полупроводниковых приборах и интегральных схемах по схеме двойного регулирования.

Выходные клеммы прибора изолированы от корпуса, что позволяет включать его последовательно с другими источниками.

Источники питания постоянного тока Б5-40 — Б5-42

Приборы (рис. 2.11) предназначены для питания радиоэлектронных устройств, содержащих ЭЛТ, клистроны и другие элементы, стабилизированным напряжением постоянного тока.

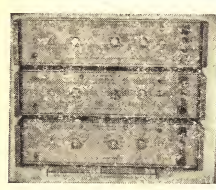


Рис. 2.11

Основные технические характеристики

Тип прибора	Б5-40	Б5-41	Б5-42
Выходное напряжение, В	300—3000	500—5000	1000—10000
Ток нагрузки, мА	5	3	2

Нестабильность выходного напряжения: менее $2 \cdot 10^{-2}\%$ при изменении напряжения сети на 10%, менее $5 \cdot 10^{-2}\%$ при изменении нагрузки на 100%
Относительное значение пульсаций менее $2 \cdot 10^{-4}$
Температурный коэффициент напряжения $2 \cdot 10^{-4}/°C$
Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В
Потребляемая мощность 150 ВА
Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +30° С
Габаритные размеры
490×185×475 мм
Масса 16 кг

Источники питания выполнены на полупроводниковых приборах и микросхемах, имеют защиту от перегрузок и коротких замыканий.

Выходные цепи их изолированы от корпуса, что позволяет заземлять высокое напряжение положительной или отрицательной полярности. Принцип работы источников питания основан на методе высокочастотного преобразования стабилизированного постоянного напряжения в переменное высокое с последующим выпрямлением его в постоянное высокое напряжение. В цепь высокого напряжения включен линейный стабилизатор компенсационного типа.

Выпрямитель стабилизированный Б5-21

Прибор (рис. 2.12) предназначен для питания накальных цепей и устройств на полупроводниковых приборах.

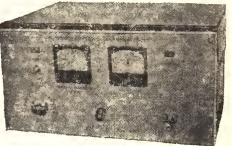


Рис. 2.12.

Основные технические характеристики

Диапазон выходного напряжения 0—30 В

Ток нагрузки, А	Выходное напряжение, В
0—15 0—5	до 10 свыше 10

Нестабильность выходного напряжения: менее $10^{-2}\%$ при изменении напряжения сети на 10%, $10^{-1}\%$ при изменении нагрузки на 100% для тока, равного 10 А, и $5 \cdot 10^{-2}\%$ для тока, равного 5А

Температурный коэффициент напряжения $\pm 0{,}1\%/°C$

Относительное напряжение пульсации не более 0,03%

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 480 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +30° С

Габаритные размеры
490×270×410 мм

Масса 28 кг

Прибор (рис. 2.12) представляет собой компенсационный стабилизатор обратной связи с последовательно включенным регулирующим элементом и имеет защиту от коротких замыканий, а также перегрузок. Выходное напряжение регулируется ступенчато, с плавным перекрытием в поддиапазонах.

Выходные клеммы прибора изолированы от корпуса и позволяют получить на выходе напряжение любой полярности.

Источники питания постоянного тока высоковольтные Б5-14 — Б5-16

Приборы (рис. 2.13) предназначены для питания радиотехнических устройств высоковольтным стабилизированным напряжением постоянного тока.

Основные технические характеристики

Тип прибора	Б5-14	Б5-15	Б5-15
Выходное напряжение, В	300—3000	500—5000	1000—10000
Ток нагрузки, мА	5	3	2

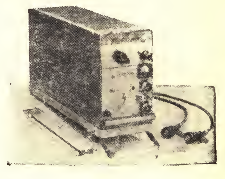


Рис. 2.13.

Нестабильность выходного напряжения: менее $3 \cdot 10^{-2}$% при изменении напряжения сети на 10%; менее 2% при изменении нагрузки на 100%

Относительное значение пульсаций до 0,1%

Температурный коэффициент напряжения до $3 \cdot 10^{-4}/°C$

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой $400 ^{+28}_{-12}$ Гц, напряжением 220±11 В

Потребляемая мощность 150 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +30° С, относительная влажность до 80% при +30° С

Габаритные размеры

130×233×435 мм

Масса 15 кг

Приборы представляют собой компенсационный стабилизатор напряжения с последовательно включенным регулирующим элементом и преобразователем низкого стабилизированного напряжения в высокое.

Силовой трансформатор служит для питания выпрямителей основного и вспомогательного стабилизаторов. Основной стабилизатор предназначен для питания преобразователя стабилизированным регулируемым напряжением постоянного тока. Вспомогательный питает усилитель обратной связи, опорный источник напряжения основного стабилизатора и задающий генератор преобразователя напряжения. Вырабатываемые задающим генератором импульсы подаются на мостовой усилитель мощности, в диагональ которого включен повышающий высоковольтный трансформатор. Импульсы высокого напряжения выпрямляются, и постоянное напряжение подается на выходные разъемы прибора.

Для защиты прибора от перегрузок и коротких замыканий применено электронное устройство с электромагнитным реле, отключающим выпрямитель основного стабилизатора от силового трансформатора и вспомогательный стабилизатор от выпрямителя вспомогательного стабилизатора.

Выходные клеммы прибора изолированы от корпуса и позволяют получить на выходе напряжение любой полярности.

2.4. Источники с регулируемыми параметрами

Источники питания с цифровым программным управлением Б6-1, Б6-2

Приборы (рис. 2.14) предназначены для питания устройств стабилизированным напряжением постоянного тока в автоматизированных измерительных системах.

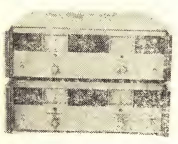


Рис. 2.14.

Основные технические характеристики

Тип прибора	Б6-1	Б6-2
Пределы выходного напряжения, В	±49,9	±99,9
Ток нагрузки, А	1	0,5

Относительная погрешность не более $2 \cdot 10^{-4}$ ±1 знак

Нестабильность выходного напряжения: менее $5 \cdot 10^{-3}$% при изменении напряжения сети на 10%, менее $5 \cdot 10^{-3}$% при изменении нагрузки на 100%

Напряжение пульсаций до 5 мВ

Время установления выходного напряжения до 300 мкс

Время переключения диапазонов до 2 мс

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 200±22 В

Потребляемая мощность 200 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 80% при +30° С

Габаритные размеры

485×420×160 мм

Масса 22 кг

Принцип действия прибора основан на преобразовании цифровых управляющих сигналов в постоянное напряжение. Входные сигналы через согласующие усилители поступают на цепи гальванических развязок, при помощи которых усилители изолируются от ЦАП и потенциально связанного с ним выходного усилителя мощности. Устройства логики и ЦАП обрабатывают, запоминают и преобразуют цифровые данные в выходное постоянное напряжение и ток соответствующих величин и полярностей.

Устройства автоматики, ограничивающие ток и переключающие диапазон напряжения, обрабатывают входную цифровую информацию, запоминают ее и преобразуют, выдавая сигналы состояния источника: «запрет», «ограничение», «перегрузка». Если выходной ток источника превышает заданную величину, прибор выдает сигнал «перегрузка» и через некоторое время, определяемое внешней емкостью, — сигнал «ограничение». Одновременно сигнал «ограничение» подается на усилитель мощности, уменьшая выходной ток до величины не более 10 мА. Усилитель мощности преобразует выходной ток ЦАП в постоянное напряжение, величина которого соответствует цифровым управляющим сигналам, поступающим от ЦАП. Усилитель мощности включает устройство ограничения предельного тока нагрузки как положительной, так и отрицательной полярности, которое срабатывает при превышении тока нагрузки выше допустимой величины выходного тока на 50%.

Приборы могут работать как в режиме источника напряжения, так и в режиме нагрузки, допуская работу на противо-э. д. с. Блок коммутации, входящий в состав комплекта прибора, позволяет использовать его в качестве прецизионного источника напряжения постоянного тока.

Приборы управляются потенциальными логическими сигналами в двоично-десятичном и двоичном кодах. Логическому «0» соответствует постоянное напряжение +(0—0,4) В, логической «1» +(2,4—4,0) В.

Благодаря возможности автоматического управления внешними сигналами в цифровом коде источники питания можно использовать в автоматизированных измерительных системах.

2.5. Источники постоянного и переменного тока универсальные

Выпрямитель стабилизированный Б3-3 (Б7-3)

Прибор (рис. 2.15) предназначен для питания различных радиоэлектронных устройств в лабораторных и производственных условиях.

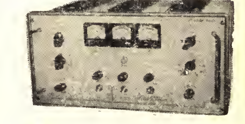


Рис. 2.15.

Основные технические характеристики

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 400 ВА

Характеристики	Источники		
	1	2	3
Выходное напряжение, В	1—500	1—500	6,3
Ток нагрузки, мА	200	10	1000
Нестабильность выходиого напряжения, %:			
при изменении напряжения сети на 10%	$5\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-2}$	—
прн изменении нагрузки на 100%	$2\cdot10^{-2}$	$3\cdot10^{-2}$	—
Напряжение пульсаций, мВ	5	—	—
Температурный коэффициент напряжения %/°С	0,02	0,02	—

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 98% прн +30° С,

Габаритные размеры

510×280×340 мм

Масса 28 кг

Источникн постоянного тока представляют собой лннейный стабилизатор компенсационного типа с последовательно включенным регулирующим элементом.

Специальное устройство обеспечивает защнту основного выпрямнтеля н регулирующих ламп от перегрузки по току или короткого замыкания во внешней цепн.

Любой полюс источииков можио соеднннть с корпусом.

Источник накальных напряжений Б7-4 (Б3-4)

Прнбор (рис. 2.16) предназначен для питания радиотехинческих устройств стабнлизированным напряжением постоянного и переменного токов.

Основные техинческие характеристики

Питаине от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжеинем 220±22 В.

Потребляемая мощиость 250 ВА

Условия эксплуатацин: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 98% прн +40° С

Габаритные размеры

120×200×395 мм

Масса 17 кг

Источник постоянного напряжения 12,6 В, представляющнй собой компенсациониый стабилнзатор, выполненный по схеме двойного регулнрования, питается от стабилизаторов, обеспечивающих переменное напряжение 12,6 и 6,3 В.

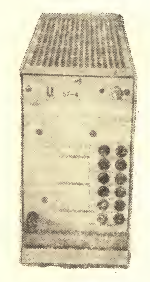


Рис. 2.16.

Выходное напряжение, В		Ток нагрузки, А	Нестабильность выходного напряжения, %		Напряжение пульсаций	Температурный коэффициент напряжения %/°С
			при изменении напряжения сети на 10%	при изменении нагрузки на 100%		
Переменное	6,3	3	$5\cdot10^{-1}$	—	—	$5\cdot10^{-2}$
	12,6	3	$5\cdot10^{-1}$	—	—	$5\cdot10^{-2}$
	6,3	3	—	—	—	—
	12,6	2	—	—	—	—
Постоянное	6,3	2,5	$5\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	$2,5\cdot10^{-2}$
	12,6	2	10^{-2}	$2\cdot10^{-1}$	$2\cdot10^{-2}$	$2,5\cdot10^{-2}$

Источник переменного напряжения выполнен по схеме компенсационного стабилизатора. Регулирующий элемент его состоит из двух вольтодобавочных трансформаторов, регулируемых подмагничиванием.

Источник постоянного напряжения 6,3 В питается непосредственно от сети через трансформатор, который одновременно обеспечивает переменные нестабилизированные напряжения 6,3 и 12,6 В.

Источник переменного напряжения выполнен по схеме компенсационного стабилизатора. Регулирующий элемент его состоит из двух вольтодобавочных трансформаторов, регулируемых подмагничиванием

Источник постоянного и переменного токов Б7-8

Прибор (рис. 2.17) предназначен для питания накальных цепей маломощных ЛОВ, ЛБВ и митронов.

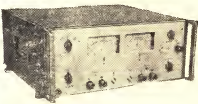


Рис. 2.17.

Основные технические характеристики

Прибор содержит три самостоятельных источника

Нестабильность выходного напряжения менее 10^{-2}% при изменении напряжения сети на 10%

Температурный коэффициент напряжения $25\cdot10^{-3}$%/°С

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 200 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 98% при +40° С

Габаритные размеры 490×215×482 мм

Масса 25 кг

Источники постоянного тока работают по принципу двойного регулирования. Выходные клеммы источников изолированы от корпуса и друг от друга.

Источники	1	2	3
Выходное напряжение, В	Стабилизированное постоянное 0,1—100	Стабилизированное постоянное 2,4—12,6	Стабилизированное переменное 2,4; 6,3; 12,6
Ток нагрузки, А	0,3	4	4
Напряжение пульсаций, мВ	3	2	—

Источник постоянного и импульсного тока Б7-9

Прибор (рис. 2.18) предназначен для питания цепей первого анода маломощных ЛОВ, ЛБВ, митронов и других устройств.

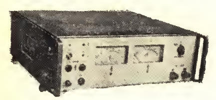


Рис. 2.18.

Основные технические характеристики

Выходное напряжение 5—500 В
Ток нагрузки 50 мА
Нестабильность выходного напряжения менее $3\cdot10^{-2}$% при изменении напряжения сети на 10%
Температурный коэффициент напряжения до $25\cdot10^{-3}$%/° С

Напряжение пульсаций не более 10 мВ
Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В
Потребляемая мощность 100 ВА
Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С
Габаритные размеры
480×175×475 мм

Масса 17 кг

Прибор построен по схеме двойного регулирования на полупроводниковых приборах и интегральных схемах.

На выходе компенсационного стабилизатора включен ключ-модулятор.

Выход источника изолирован от корпуса. Режимы работы: постоянный и импульсный с внешней или внутренней модуляцией частоты 1—100 кГц с током нагрузки 20 мА.

Комплект источников питания с дистанционным управлением Б5-43 — Б5-56

Комплект источников питания с дистанционным управлением (рис. 2.19) состоит из 14 приборов, которые могут работать в режиме стабилизации напряжения и тока.



Рис. 2.19.

Режимы	Нестабильность выходного параметра, %	
	при изменении напряжения сети на 10%	при изменении нагрузки на 100%
Стабилизация напряжения	10^{-3}	$5\cdot10^{-4}$
Стабилизация тока	10^{-2}	$5\cdot10^{-3}$

Основные технические характеристики

Тип прибора	Б5-43	Б5-44	Б5-45	Б5-46	Б5-47	Б5-48	Б5-49	Б5-50	Б5-51	Б5-52	Б5-53	Б5-54	Б5-55	Б5-56
Выходное напряжение, В	10	30	50	10	30	50	100	300	30	300	500	30	50	500
Ток нагрузки, А	2	1	0,5	5	3	2	1	0,3	10	1	0,5	20	10	1
Габаритные размеры, мм	236×326×93			236×326×133					490×355×135			490×475×175		

Приборы построены по схеме компенсационного стабилизатора с двойным регулированием.

Предварительная стабилизация приборов Б5-43—Б5-45 осуществляется буферным каскадом. В остальных приборах используется предварительное преобразование частоты: сетевое напряжение выпрямителя преобразуется в напряжение частотой 5 кГц с одновременной модуляцией ее частотой 0,5 кГц.

Приборы имеют стрелочную индикацию напряжения и тока, а также индикацию режима. Величины напряжения и тока устанавливаются как переключателями на передней панели, так и сигналами дистанционного управления, подаваемыми на соответствующие контакты разъемов на задней панели. Управление производится в двоично-десятичном коде.

Список литературы

1. **Белопольский И. И.** Электропитание радиоустройств. М., «Энергия», 1965.
2. **Источники электропитания на полупроводниковых приборах (проектирование и расчет).** Под ред. С. Д. Додика, Е. И. Гальперина. М., «Советское радио», 1969. Авт.: С. Д. Додик, Ю. Я. Дусавицкий, К. Б. Мазель и др.
3. **Грейвер Б. С.** Ключевые стабилизаторы напряжения постоянного тока. М., «Связь», 1970.
4. **Додик С. Д.** Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. М., «Советское радио», 1962.



Глава 3

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ, ТРАНЗИСТОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

3.1. Общие сведения

В настоящее время существует большое количество разнообразных типов полупроводниковых приборов, перекрывающих по частоте диапазон от постоянного тока до нескольких гигагерц и по мощности от единиц микроватт до десятков ватт. По физическим и электрическим свойствам полупроводниковые приборы можно разбить на следующие группы:

— биполярные транзисторы;
— полевые транзисторы;
— диоды и стабилитроны;
— туннельные диоды;
— интегральные схемы.

В свою очередь, внутри каждой группы приборы могут подразделяться на низкочастотные и высокочастотные, маломощные и мощные.

Характеристики биполярных транзисторов можно условно объединить в следующие группы:

— параметры четырехполюсника (параметры малого сигнала);

— параметры большого сигнала, такие как статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$, напряжения насыщения $U_{КЭнас}$ и $U_{БЭнас}$, обратные токи коллектора ($I_{КБО}$), эмиттера ($I_{ЭБО}$), коллектор-эмиттер ($I_{КЭR}$);

— высокочастотные параметры, такие как модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте $|h_{21э}|$, емкость эмиттерного $C_э$ и коллекторного $C_к$ переходов, граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером $f_{гр}$, постоянная времени цепи обратной связи на высокой частоте $\tau_к$.

Параметры первой группы удобнее всего использовать при расчетах усилительных схем. При этом наиболее употребительными являются h-параметры, так как их измерение осуществляется наиболее просто.

Вторая группа параметров применяется при расчетах генераторных, ключевых и импульсных устройств. Чаще всего именно эти параметры являются приемо-сдаточными на выходном и входном контроле.

Третья группа параметров используется при проектировании любых высокочастотных схем усилителей, генераторов, компараторов и т. п. К высокочастотным параметрам относятся и S-параметры четырехполюсника, которые удобно использовать на частотах выше 100 МГц. Методы измерения S-параметров и приборы для их измерения в данной главе не рассматриваются.

Полевые транзисторы получают все большее и большее распространение. Благодаря высокому входному сопротивлению они могут успешно заменить электронную лампу там, где применение биполярных транзисторов представляет большие технические трудности. Общепринятыми параметрами полевых транзисторов являются:

— параметры малого сигнала, такие как крутизна характеристики S, активная составляющая выходной проводимости в схеме с общим истоком $g_{22и}$, входная $C_{11и}$, выходная $C_{22и}$ и проходная $C_{12и}$ емкости;

— статические параметры, такие

как пороговое напряжение $U_{ЗИ\,пор}$, напряжение отсечки $U_{отс}$, начальный ток стока $I_{С\,нач}$, ток утечки с затвора на исток $I_{З\,ут}$;

— модуль полной проводимости передачи $|Y_{21и}|$ на высокой частоте.

Полный комплекс указанных параметров позволяет оценить качество транзисторов и провести расчет любой электронной схемы.

Следует отметить, что параметры малого сигнала близки к параметрам четырехполюсника биполярных транзисторов как по физической сущности, так и по методам измерения.

Маломощные диоды и стабилитроны характеризуются следующими параметрами:

— прямым падением напряжения $U_{пр}$ при заданном прямом токе;

— обратным током $I_{обр}$ при заданном обратном напряжении;

— напряжением стабилизации (для стабилитронов) при заданном обратном напряжении;

— напряжением стабилизации (для стабилитронов) при заданном токе стабилизации;

— емкостью перехода и дифференциальным сопротивлением.

Параметрами, характеризующими туннельные диоды, являются емкость перехода $C_{пер}$ и следующие статические параметры: пиковый ток $I_п$, ток впадины $I_в$, напряжение пикового тока $U_п$, напряжение впадины $U_в$ и напряжение раствора $U_{рр}$.

Статические параметры полностью характеризуют вольт-амперную характеристику диода, что вполне достаточно для расчета схем.

Все существующие интегральные схемы по степени интеграции (количество элементов в единице объема) подразделяются на:

— микросхемы малой интеграции с числом элементов 10—20 (вентили, транзисторные сборки);

— микросхемы средней интеграции (СИС) с числом элементов 100—200 (счетчики, регистры, дешифраторы);

— большие интегральные схемы (БИС) с числом элементов до десятков тысяч (регистры, запоминающие устройства, микропроцессоры).

По функциональному назначению интегральные схемы делятся на:

— линейные (аналоговые) (ЛИС);

— цифровые (логические) (ЦИС);

Группа линейных интегральных схем объединяет практически все аналоговые устройства: УНЧ, УПЧ, операционные усилители, генераторы, интегральные прерыватели и т. д. Параметрами этих ИС являются параметры того устройства, функции которого они выполняют.

Цифровые интегральные схемы реализуют логические функции И, ИЛИ, НЕ и их комбинации. По схемным элементам ЦИС разделяются на:

— резисторно-транзисторные логические устройства (РТЛ);

— диодно-транзисторные логические устройства (ДТЛ);

— транзисторно-транзисторные логические устройства (ТТЛ);

— логические устройства с эмиттерными связями (ЭСЛ).

Сравнительные характеристики различных ЦИС приведены в табл. 3.1.

Цифровые ИС характеризуются большим количеством статических и

Таблица 3.1

Характеристика	Типы цифровых интегральных схем			
	ЭСЛ	ТТЛ	ДТЛ	РТЛ
Среднее время задержки, нс	4	10	30	24
Типовая тактовая частота двоичного элемента, МГц	120	20	40	8
Рассеиваемая мощность, мВт	40	15	8	12
Разветвление на выходе	25	15	8	8
Напряжение источника питания, В	$-5{,}2\pm5\%$	$5{,}0^{-10\%}_{+20\%}$	$5{,}0\pm10\%$	$3{,}0\pm10\%$, $3{,}6\pm10\%$

динамических параметров. К основным статическим параметрам относятся:

— напряжение логического нуля интегральной микросхемы U^0;

— напряжение логической единицы интегральной микросхемы U^1;

— входной ток логического нуля интегральной микросхемы $I^0_{вх}$;

— входной ток логической единицы интегральной микросхемы $I^1_{вх}$;

— ток потребления в состоянии логической единицы $I^1_{пот}$;

— ток потребления в состоянии логического нуля $I^0_{пот}$.

Под напряжением логического нуля интегральной микросхемы понимают значение низкого уровня напряжения для «положительной логики» и значение высокого уровня напряжения для «отрицательной логики». Напряжение логической единицы определяется как значение высокого уровня напряжения для «положительной логики» и значение низкого уровня напряжения для «отрицательной логики».

Основными динамическими параметрами цифровых ИС являются:

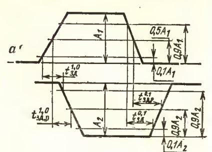


Рис. 3.1.

— время задержки включения микросхемы $t^{1,0}_{зд}$;

— время задержки выключения интегральной микросхемы $t^{0,1}_{зд}$;

— время задержки распространения сигнала при включении интегральной микросхемы $t^{1,0}_{здр}$;

— время задержки распространения сигнала при выключении интегральной микросхемы $t^{0,1}_{здр}$;

Физический смысл этих параметров иллюстрируется рис. 3.1.

3.2. Методы измерения

Методы измерения параметров биполярных транзисторов при малых сигналах

Параметры четырехполюсника. Чаще всего на практике применяется система h-параметров. Она наиболее просто реализуется в измерительных приборах, так как у любого транзистора достаточно легко создать режим короткого замыкания (КЗ) на выходе и режим холостого хода (XX) на входе.

Если $u_1 = h_{11}i_1 + h_{21}u_2$, $i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}u_2$, где u_1, i_1 — напряжение и ток на входе транзистора; u_2, i_2 — напряжение и ток на выходе транзистора, то

$$h_{11} = \frac{u_1}{i_1}; \quad h_{21} = \frac{i_2}{i_1}$$

при КЗ на выходе,

$$h_{12} = \frac{u_1}{u_2}; \quad h_{22} = \frac{i_2}{u_2}$$

при XX на входе.

Таким образом, задавая i_1, u_2 и измеряя u_2 и i_1, можно рассчитать полную матрицу параметров четырехполюсника.

На рис. 3.2 показан пример измерения входного сопротивления в схеме с общей базой $h_{11б}$.

Режим КЗ на выходе создается емкостью. На вход транзистора от источника тока подается переменный сигнал. Для этого случая

$$h_{11б} = \frac{u_1}{i_1} = \frac{R_2}{e(\omega)}\, u_1,$$

где $e(\omega)$ — э. д. с. источника переменного тока; R_2 — внутреннее сопротивление источника переменного тока.

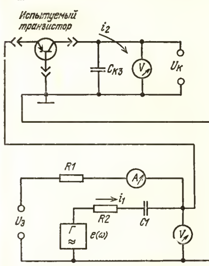


Рис. 3.2.

Если $e(\omega)$ и R_2 — величины постоянные, то прибор, измеряющий u_1, будет показывать величину, пропорциональную h_{11}, иначе говоря, шкалу прибора можно проградуировать непосредственно в значениях h_{11}. Аналогично измеряются все остальные параметры системы. Для того, чтобы измерить параметры современных транзисторов и сохранить условия малости сигнала, вольтметр, измеряющий u_1, должен обладать достаточно высокой чувствительностью (100—200 мкВ).

Высокочастотные параметры. На высоких частотах для измерения емкостей переходов используется метод емкостно-омического делителя, иллюстрируемый рис. 3.3.

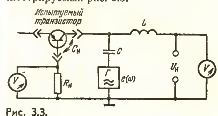


Рис. 3.3.

При соблюдении условия $\omega R_{н} C_{н} \ll 1$ справедливо соотношение $u = e(\omega) C_{н} R_{н}$, где $R_{н}$ — сопротивление нагрузки; $C_{н}$ — емкость нагрузки, т. е. показания вольтметра пропорциональны величине емкости коллекторного перехода $C_{к}$. Емкость эмиттерного перехода $C_{э}$ измеряется аналогичным способом. При выполнении указанного условия на малых сигналах чувствительность вольтметра должна быть очень высокой. Поэтому часто в качестве измерителя параметров используют высокоизбирательный вольтметр.

Измерение постоянной времени цепи обратной связи $\tau_{к} = r'_{б} C_{к}$ осуществляется устройством, схема которого показана на рис. 3.4 ($r'_{б}$ — сопротивление базы).

Если $\omega r'_{б} C_{к} \ll 1$, а напряжение и частота генератора остаются постоянными, то $u = \omega r'_{б} C_{к}$ и, следовательно, измеритель напряжения u можно проградуировать в значениях $r'_{б} C_{к}$.

Измерение предельной f_{h21} и граничной $f_{гр}$ частот коэффициента передачи тока сводится к измерению модуля коэффициента передачи тока $|h_{21э}|$ на одной фиксированной частоте. Это видно из соотношения

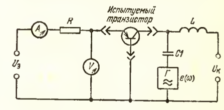


Рис. 3.4.

$$f_{h\,21} = kf_{гр} = kf\,|h_{21э}|,$$

где $k = 1{,}2—1{,}6$.

Чаще всего для измерения применяют устройство, схема которого показана на рис. 3.5.

В цепи базы протекает высокочастотная составляющая тока базы. На нагрузке $C_{кз}$, являющейся одновременно емкостью короткого замыкания, создается пропорциональное току коллектора падение напряжения, которое измеряется приемником или се-

лективным микровольтметром. Для этого случая

$$|h_{21э}| = I_к/I_б.$$

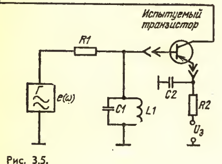


Рис. 3.5.

При условии $I_б$=const шкалу отсчетного прибора микровольтметра можно проградуировать непосредственно в значениях $h_{21э}$ или $f_{гр}$, т. е. частоты, на которой $|h_{21э}| = 1$.

Анализируя устройства, измеряющие малосигнальные параметры, можно выделить узлы, являющиеся для всех их общими, т. е. базовыми:

— источник постоянного напряжения на коллекторе;

— источник постоянного тока эмиттера;

— генераторы гармонического сигнала;

— милли- и микровольтметры переменного напряжения;

— приспособления для подключения испытуемых транзисторов.

При измерении различных параметров к генераторам и милливольтметрам предъявляются различные требования как по рабочим частотам, так и по выходному напряжению и чувствительности, что препятствует созданию единого универсального прибора.

Методы измерения параметров биполярных транзисторов при большом сигнале

Одной из наиболее важных характеристик транзистора является статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером $h_{21Э}$, представляющий собой отношение управляемого тока коллектора к управляющему току базы:

$$h_{21Э} = (I_К - I_{КБО})/(I_Б - I_{КБО}).$$

Величина h_{21}Э, может измеряться как на постоянном токе, так и на импульсном. Поскольку в первом случае необходимо учитывать составляющую обратных токов и возможность перегрева испытуемого транзистора, более предпочтительным является второй метод, наиболее распространенная схема которого показана на рис. 3.6.

В данном устройстве ток эмиттера Iэ является постоянной величиной, а ток базы $I_Б$ — измеряемой. Поскольку $(h_{21}Э+1) = I_Э/I_Б$, то градуировка шкалы измерительного прибора должна быть обратной, что является недостатком метода. Достоинство же заключается в том, что отсутствует влияние обратных токов и не требуется перестройки режима при смене транзисторов.

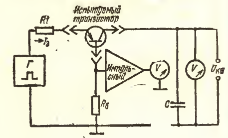


Рис. 3.6.

Параметрами, характеризующими работу транзисторов в режиме насыщения, являются напряжение на-

сыщеиия коллектор — эмиттер $U_{КЭ\,нас}$ и напряжение насыщения база — эмиттер $U_{БЭ\,нас}$, схема измерения которых показаиа на рис. 3.7.

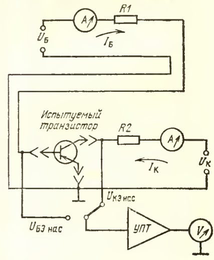


Рис. 3.7.

Измереиие этих параметров маломощных траизисторов чаще всего производится иа постояииом токе. Траизисторы средней и большой мощиости исследуются в импульсном режиме, когда либо оба источника, либо один — базовый — выдают импульсы иапряжения, что резко сокращает габаритиые размеры источников питания и уменьшает разогрев траизистора. В этом случае измеритель остаточиых напряжеиий представляет собой импульсиый вольтметр.

Работа транзисторов в области отсечки характеризуется величииами обратных токов.

Схема измереиия обратного тока коллектора $I_{КБО}$ показаиа иа рис. 3.8. В качестве индикатора мож-

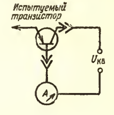


Рис. 3.8.

но использовать стрелочный прибор или УПТ. Обратиый ток эмиттера $I_{ЭБО}$ и обратный ток коллектор — эмиттер при заданиом сопротивлеиии в цепи базы $I_{КЭ\,R}$ измеряются аналогичным способом.

Нужно отметить, что во всех устройствах, измеряющих параметры транзисторов при большом сигнале, содержится целый ряд базовых узлов:

— источники постояиного напряжения на коллекторе;

— источники импульсного тока базы, коллектора и эмиттера;

— импульсиые милливольтметры и вольтметры;

— усилители постоянного тока;

— приспособления для подключения испытуемых транзисторов.

Методы измерения параметров полевых транзисторов

Методы, лежащие в основе работы приборов, измеряющих параметры полевых транзисторов, близки к методам измерения ряда параметров биполяриых транзисторов.

Крутизна полевого транзистора по затвору на высокой частоте S и активная составляющая выходиой проводимости g_{22} измеряются аналогичио h-параметрам. Для измерения входиой $C_{11и}$, проходиой $C_{12и}$ и выходиой $C_{22и}$ емкостей, как при определеиии емкостей переходов, пользуются методом емкостно-омического делителя; модуль полной проводимости прямой передачи тока $|Y_{21и}|$ измеряется аиалогичио $|h_{21э}|$; ток утечки затвора $I_{З\,ут}$ и иачальный ток стока $I_{С\,нач}$ измеряются так же, как и обратиые токи биполяриого транзистора.

Благодаря столь полной идеитич-

ности используемых методов, измерители параметров полевых транзисторов имеют в своем составе те же базовые узлы, что и измерители параметров биполярных транзисторов, а именно:

— источники постоянного напряжения для питания затвора и стока;

— генераторы гармонического сигнала;

— милливольтметры переменного напряжения;

— измерительные приемники;

— УПТ.

Следует заметить, что измерение токов утечки, в отличие от измерения обратных токов, представляет значительные трудности из-за их чрезвычайно малой величины (10^{-12}—10^{-13}А).

Специфическим параметром полевого транзистора является пороговое напряжение $U_{пор}$, схема измерения которого показана на рис. 3.9. При заданном токе стока (устанавливается величиной $U_{ЗИ}$ — напряжением между затвором и истоком) $U_{пор} = U_{ЗИ}$.

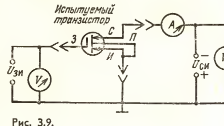


Рис. 3.9.

Методы измерения параметров туннельных диодов

Координаты точек перегиба вольтамперной характеристики туннельного диода, являющиеся наиболее важной его характеристикой, измеряют вольтметром постоянного тока при условии автоматического совмещения рабочей точки с точкой перегиба.

Емкость перехода, определяемую чаще всего в точках перегиба, находят методом емкостно-омического делителя при очень малом переменном сигнале, с помощью микровольтметра чувствительностью около 1 мкВ.

Методы измерения параметров цифровых интегральных схем

Для измерения параметров микросхемы на ее входах и выходах создают определенные условия.

Для измерения параметров U^0 или U^1 на проверяемом выходе испытуемой микросхемы следует обеспечить соответствующий уровень напряжения и измерить результирующее выходное напряжение. При этом с помощью источника тока, подключенного к выходу микросхемы, устанавливают заданный ток нагрузки, а на входы микросхемы подают необходимые напряжения U^0 или U^1. Пример измерительной схемы изображен на рис. 3.10.

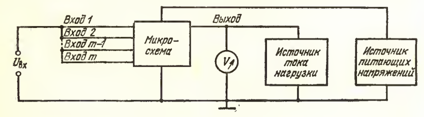


Рис. 3.10.

При измерении параметров $I^0_{вх}$ или $I^1_{вх}$ на проверяемый вход испытуемой микросхемы подают соответствению напряжение U^0 или U^1 и измеряют результирующий ток, проходящий во входной цепи. Пример измерительной схемы приведен на рис. 3.11.

противлении нагрузки и измерить результирующий ток, проходящий в цепи вывода питания.

Схема измерения динамических параметров приведена на рис. 3.13. Параметры времени задержки $t^{1,0}_{зд}$, $t^{1,0}_{зд\,р}$, $t^{0,1}_{зд}$, $t^{0,1}_{зд\,р}$ измеряются,

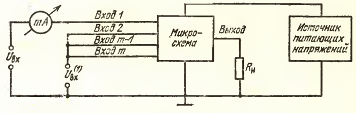


Рис. 3.11.

На рис. 3.12 показана схема измерения параметров $I^0_{пот}$ или $I^1_{пот}$. При измерении этих параметров на

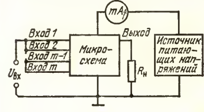


Рис. 3.12.

выходе микросхемы следует обеспечить соответствующий уровень напряжения при соответствующем со-

как интервал между соответствующими уровнями входного и выходного сигналов (см. рис. 3.1).

С повышением степени интеграции и функциональной сложности интегральных схем измерение статических и динамических параметров становится трудоемким. В этом случае особое значение приобретает контроль функционирования на частотах, близких к рабочим. Этот вид контроля заключается в автоматическом формировании тестовых последовательностей с последующей оценкой правильности прохождения этой последовательности через проверяемую интегральную схему.

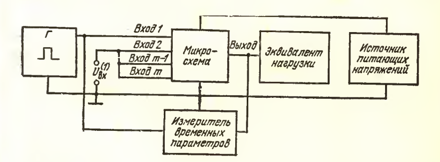


Рис. 3.13.

Поверка измерительных приборов

В большинстве случаев параметры полупроводниковых приборов имеют размерность сопротивления, проводимости, емкости, напряжения или тока. Поэтому погрешность приборов, измеряющих эти параметры, можно определить простыми средствами при помощи измерителей перечисленных величин. Как правило, погрешность измерения параметров не превышает 5%, поэтому поверка измерительных приборов не представляет больших трудностей.

В некоторых случаях (измерение постоянной времени коллекторной цепи $\tau_к$) поверку необходимо проводить по двум параметрам. Погрешность измерения таких параметров, как $h_{21э}$ и $|h_{21э}|$, определяется косвенно по отдельным составляющим погрешности.

Конструктивные особенности измерительных приборов

Отличительной конструктивной особенностью рассматриваемых измерителей являются присоединительные приспособления (адаптеры) для подключения измеряемых полупроводниковых приборов. К адаптерам предъявляются следующие требования:

— возможность подключения всех типов полупроводниковых приборов без изменения их товарного вида;
— удобство подключения;
— надежный контакт;
— низкое переходное сопротивление;
— малые ток утечки и емкость между выводами и каждым выводом и корпусом в нормальных условиях и при повышенной влажности;
— малая индуктивность выводов;
— экранировка выводов.

Такое обилие требований не позволяет создать универсальные адаптеры не только для всех типов транзисторов и ЦИС, но даже и для одного типа транзистора, различные параметры которого необходимо измерить. Практически к каждому прибору придается свой комплект сменных адаптеров (в общей сложности более пятидесяти типов).

3.3. Измерители параметров биполярных транзисторов

Измеритель h-параметров маломощных транзисторов Л2-22

Прибор (рис. 3.14) предназначен для измерения гибридных параметров в схеме с общим эмиттером и общей базой.

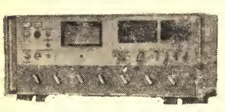


Рис. 3.14.

Основные технические характеристики

Параметры	Диапазон измерения при токе эмиттера	
	>0,1 мА	<0,1 мА
$h_{11э}$, кОм	0,1—10	0,3—10
$h_{21э}+1$	10—1000	30—1000
$h_{12э}$	$(0,1-3)\cdot10^{-3}$	
$h_{22э}$, См	$(0,1-3)\cdot10^{-4}$	
$h_{11б}$, Ом	3—300	10—300
$1-h_{21б}$	0,003—0,3	0,01—0,3
$h_{12б}$	$(0,1-3)\cdot10^{-3}$	
$h_{22б}$, См	$(0,1-10)\cdot10^{-6}$	

Диапазон измерения обратных токов $I_{КБО}$; $I_{ЭБО}$; $I_{КЭR}$ (0,03 — 100) мкА

Погрешность измерения 5% от конечного значения шкалы

Диапазон установки режимов: 0,03—29,9 мА по току эмиттера; 2—99 В по напряжению на коллекторе

Питание от сети переменного тока частотой 50 ± 0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность не более 40 ВА.

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры
190×215×360 мм

Масса 18 кг

Структурная схема измерителя показана на рис. 3.15.

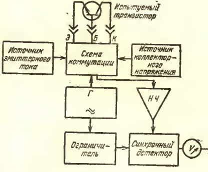


Рис. 3.15.

Переменное синусоидальное напряжение частотой 1000 Гц через устройство коммутации поступает на испытуемый транзистор, режим работы которого устанавливается постоянными составляющими напряжения и тока. Усиленное напряжение, пропорциональное измеряемому параметру, детектируется синхронным детектором. Управление детектором осуществляется импульсами прямоугольной формы, поступающими с задающего генератора через ограничитель.

Для удобства оператора и исключения ошибки отсчета в приборе предусмотрена дискретная установка напряжений и токов переключателями (без измерительных приборов).

Источник коллекторного напряжения имеет защиту от перегрузки, которая одновременно является защитой испытуемого транзистора при неправильном выборе полярности. Наличие перегрузки индицируется лампочкой.

Возможность установки микрорежима ($I_э < 100$ мкА) значительно расширяет область применения прибора.

В приборе предусмотрена блокировка, отключающая источники питания в момент включения транзистора в схему. Приняты меры, исключающие появление выбросов напряжения обратной полярности на транзисторе в момент измерения и при манипуляции органами управления.

Иногда при измерении h-параметров ВЧ и СВЧ транзисторов возникает паразитная генерация, которая может привести к неправильным показаниям. Поэтому в приборе предусмотрена индикация наличия паразитной генерации.

При помощи прибора Л2-22 можно измерять динамическое сопротивление и активную составляющую проводимости маломощных диодов. Динамическое сопротивление измеряется аналогично параметру $h_{11б}$; при этом диод должен быть включен в гнезда Э, Б и смещен в прямом направлении. Активная составляющая проводимости измеряется аналогично параметру $h_{22б}$; при этом диод включается в гнезда К, В и смещается в обратном направлении.

Прибор оснащен четырехвыводным адаптером, позволяющим подключать любые маломощные транзисторы с гибкими выводами.

Поверка его очень проста. Для ее проведения необходимо иметь только измеритель напряжения, тока и сопротивления.

Измеритель параметров полупроводниковых приборов Л2-23

Прибор (рис. 3.16) предназначен для проверки годности маломощных транзисторов и диодов малой и средней мощности.

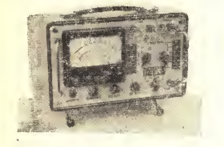


Рис. 3.16.

Основные технические характеристики

Параметр транзистора	Диапазон измерения	Погрешность, %
$h_{21б}$	0,9—1,0	5
$h_{22б}$, мкСм	0,4—4,0	5
$I_{КБО}$, мкА	5—50	5

Режимы при измерении параметров транзисторов: $I_Э \approx 1$ мА; 5 мА; $U_{КБ} = 4{,}5$ В

Параметр диода	Диапазон измерения	Погрешность, %
$I_{обр}$, мкА	20—300	5
$U_{пр}$, В	0,5—2	5

Режимы при измерении параметров диодов:

$U_{обр}$=10—100 и 50—400 В,
$I_{пр}$ =5—100 и 20—300 мА

Питание: от внутреннего источника из 6 элементов типа «Марс» или от внешнего источника напряжением 6 В с коэффициентом пульсаций не более 1% при измерении $U_{пр}$ при токе 100—300 мА

Продолжительность непрерывной работы прибора со свежими элементами «Марс» не менее:

25 ч при измерении $I_{обр}$,
16 ч при измерении $I_{пр}$,
120 ч при измерении параметров транзисторов

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры
292×196×150 мм

Масса 5 кг

Структурная схема прибора изображена на рис. 3.17. При помощи устройств коммутации $У1$, $У2$ реали-

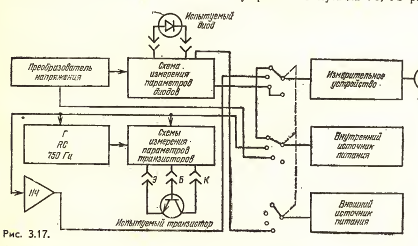


Рис. 3.17.

зуется тот или иной метод измерения и производится переключение милливольтметра, генератора и измерительного устройства.

Параметры $h_{21б}$ и $h_{22б}$ измеряются на переменном токе частотой 760 Гц ±5%, а параметры $I_{КБО}$, $I_{обр}$ и $U_{пр}$ — на постоянном токе.

Преобразователь напряжения обеспечивает режимы по постоянному току (100 В) для измерения обратных токов полупроводниковых диодов.

Внутренний источник питания подключается лишь на время калибровки и измерения, что обуславливает экономичность, малые габаритные размеры и массу прибора и позволяет использовать его в необорудованных помещениях и складах.

Наличие шкалы перехода от параметра $h_{21б}$ к параметру $h_{21э}$, контроль пробоя перехода эмиттер-коллектор и индикация неисправности транзистора при измерении любого из параметров расширяют возможности прибора.

Измеритель емкостей переходов маломощных транзисторов и полупроводниковых диодов Л2-28

Прибор (рис. 3.18) предназначен для измерения емкостей переходов и обратных токов маломощных транзисторов и диодов (кроме СВЧ диодов и видеодетекторов).

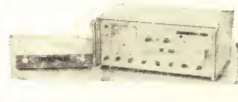


Рис. 3.18.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения емкостей 0,3—1000 пФ

Диапазон измерения обратных токов 0,03—100 мкА

Погрешность измерения ±10%

Диапазон установки режимов:
0,25—9,9 В для $U_{ЭБ}$,
0,25—99,9 В для $U_{КБ}$

Выходное напряжение генератора не более 50 мВ

Частота, на которой производится измерение:
10 МГц ±10% для 0,3—30 пФ,
300 кГц ±10% для 30—100 пФ

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 40 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры
490×215×360 мм

Масса 16 кг

Структурная схема измерителя приведена на рис. 3.19.

Как уже было отмечено, для измерения емкости применяется метод емкостно-омического делителя. Дополнительно в приборе имеется УПТ, с помощью которого производится измерение обратных токов.

В приборе предусмотрена декадная установка напряжений $U_{КБ}$ и $U_{ЭБ}$ переключателями, что существенно облегчает работу оператора. Для расширения пределов установки

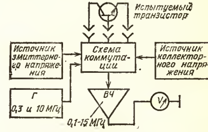


Рис. 3.19.

напряжения в приборе имеются клеммы для подключения внешних источников.

К прибору придаются пять сменных адаптеров для подключения транзисторов и диодов различных типов. Смена адаптеров производится с передней панели. Специальная

блокировка снимает напряжение с измеряемого объекта во время установки его в прибор.

В качестве усилителя высокой частоты используется широкополосный усилитель с полосой частот 100 кГц—15 МГц. Это позволяет измерять емкости переходов на частотах, отличных от частоты внутреннего генератора, подключая для этой цели внешний генератор.

Кроме измерения емкостей переходов, прибор может измерять емкости конденсаторов и стабилитронов в нерабочем состоянии.

Для поверки прибора придается комплект конденсаторов, которые переносят величину емкости от контрольного прибора Е8-2 к измерителю Л2-28. Подключение конденсаторов к контрольному прибору Е8-2 осуществляется специальным присоединительным устройством, также прилагаемым к прибору.

Измеритель параметров мощных транзисторов Л2-42

Прибор (рис. 3.20) предназначен для измерения основных статических параметров транзисторов средней и большой мощности.

Длительность импульса коллекторного тока 30, 100 и 500 мкс при скважности 1000, 200 и 320 соответственно



Рис. 3.20.

Основные технические характеристики

Измеряемые параметры	Диапазон измерений	Основная погрешность измерения, %	Диапазон установки испытательных режимов	Основная погрешность установки режимов %
$h_{21Э}$	5—500	5	$U_{КБ}$=2—50В	4
			$I_Э$=0,1—10А	4
$U_{КЭ\ нас}$	0,1—10В	5	$I_К$=0,1—20А	4
			$I_Б$=0,03—5А	4
$I_{КБО}$ $I_{КЭR}$	1 мкА—30 мА	5	$U_{КБ}$=2—100В	2
$I_{ЭБО}$	1 мкА—30 мА	5	$U_{ЭБ}$=0,3—30В	2

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 70 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Наименование	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Прибор	490×256×365	21
Пульт	122×131×200	2
Укладочный ящик с адаптерами	326×140×301	5

Прибор (рис. 3.21) состоит из нескольких источников напряжения и тока для задания рабочих режимов $U_{КБ}$, $I_Э$, $I_К$, $I_Б$, $U_{ЭБ}$ и измерительных узлов для отдельных групп

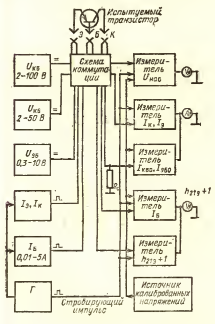


Рис. 3.21

параметров. Работа источников импульсного тока и всех измерителей синхронизируется задающим генератором, благодаря чему полностью исключены составляющие погрешности из-за нестационарных процессов. При помощи устройства коммутации реализуется тот или иной метод измерения параметров, подводятся калиброванные напряжения, осуществляется контроль источников.

В приборе предусмотрены раздельные источники питания для измерения отдельных групп параметров. Это позволяет устанавливать все необходимые режимы один раз, при измерении первого транзистора из партии, тем самым резко повышается производительность измерений.

Для облегчения работы с прибором на передней панели имеются световые индикаторы, указывающие параметр, измеряемый стрелочными приборами, и группа ручек установки режимов, используемых в зависимости от положения переключателя рода работы.

Большое внимание уделено устройствам защиты от перегрузок как самого прибора, так и измеряемого транзистора.

Все источники напряжения имеют защиту от короткого замыкания, которая одновременно служит и защитой измеряемого транзистора при неправильном выборе полярности. Предусмотрена блокировка, снимающая все напряжения с испытуемого транзистора (в том числе и заряды со всех блокировочных емкостей) в момент подключения его к прибору.

Порядок подачи напряжений и токов на электроды испытуемого транзистора строго определен и не зависит от манипуляций оператора. При любом переключении всегда первой подключается база, с задержкой 15—20 мс — эмиттер и через следующие 15—20 мс — коллектор. Выключение происходит в обратном порядке.

Электрическая схема прибора собрана на интегральных схемах; транзисторы использованы лишь в источниках токов.

Благодаря большой скважности импульсов тока полностью устранен нагрев измеряемого транзистора. Этим, в свою очередь, определяется простота конструкции (без теплоотводов) сменных приспособлений для подключения транзисторов (адаптеров). К прибору придается девять адапте-

ров, позволяющих подключать все существующие типы транзисторов. Часть адаптеров предназначена для подключения транзисторов со строго определенными размерами и расположением выводов. Несколько универсальных адаптеров отличаются друг от друга порядком расположения выводов и могут перестраиваться под транзисторы с различными расстояниями между выводами. Средний контакт в этих адаптерах неподвижный, а крайние независимо перемещаются с помощью винтовой передачи.

В адаптерах, предназначенных для СВЧ транзисторов, предусмотрены конструктивные емкости, замыкающие по высокой частоте все электроды транзисторов на корпус, что необходимо для предотвращения возникновения паразитной генерации в рабочем режиме измерения.

Поверка измерителя проста и сводится к проверке постоянных токов и напряжений. Импульсные токи контролируются путем сравнения падения напряжения от постоянного и импульсного токов на известном сопротивлении. В качестве сравнивающего устройства используется осциллограф. Схема контроля приведена на рис. 3.22.

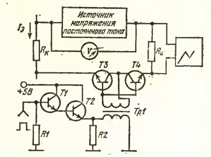


Рис. 3.22.

В момент равенства импульсного и постоянного напряжений на экране осциллографа наблюдается компенсация импульса. Благодаря отсутствию постоянной составляющей импульсного напряжения чувствительность осциллографа может быть очень большой, что позволяет измерить токи с большой разрешающей способностью.

Измеритель $|h_{21э}|$ маломощных ВЧ транзисторов Л2-43



Рис. 3.23.

Измеритель (рис. 3.23) предназначен для измерения модуля коэффициента усиления по току маломощных ВЧ транзисторов на частоте 100 МГц и определения граничной частоты испытуемого транзистора по следующей формуле:
$f_{гр} = |h_{21э}| \cdot 100$ МГц.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения $|h_{21э}|$ 1—16 на пределах 1—4—8—16

Погрешность измерения, отнесенная к конечному значению шкалы, ±15%

Испытательные режимы устанавливаются дискретно:

$U_{КЭ}$ 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12 15, 20, 24, 30 В,
$I_Э$ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 15, 20 мА

Погрешность установки режимов ±3% от установленной величины

Частота измерения 100 МГц ±1%

Выходное сопротивление источника ВЧ тока базы не менее 4 кОм.

Величина импеданса короткого замыкания в коллекторах цепи не более 5 Ом

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность не более 40 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность воздуха до 95% при +30° С

Наименование	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Прибор	490×135×355	11
Пульт	122×131×200	2
Укладочный ящик с принадлежностями	310×121×180	4

Принцип действия прибора отражен в структурной схеме, приведенной на рис. 3.24.

Прибор состоит из пяти сменных адаптеров (для разного типа транзисторов), выносного пульта и измерителя, включающего в себя: источник питания $I_Э$ и $U_{КБ}$, генератор ВЧ, селективный микровольтметр и схему коммутации. Измеритель соединяют с пультом двумя высокочастотными и одним низкочастотным кабелями. Адаптер вставляется непосредственно в пульт.

В приборе имеется устройство защиты источника $U_{КБ}$ от перегрузки по току, которое при превышении установленной величины $I_Э$ в два раза автоматически снимает напряжение с измеряемого транзистора. Одновременно загорается индикаторная лампочка. Такое устройство предохраняет не только прибор при неисправном транзисторе, но и сам испытуемый транзистор при неисправном включении его полярности.

При открывании крышки пульта срабатывает блокировка и с испытуемого транзистора снимаются питающие напряжения.

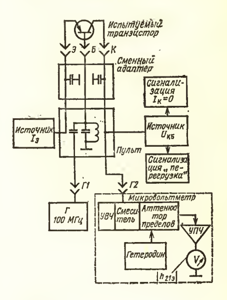


Рис. 3.24.

Порядок подключения источников $U_{КБ}$ и $I_Э$ к электродам испытуемого транзистора строго определен и не зависит от манипуляций оператора, что исключает выход транзистора из строя при включении его в измерительную схему.

Для исключения ложных отсчетов в прибор введена сигнализация $I_К=0$, лампочка которой загорается при отсутствии контакта выводов испытуемого транзисторов с гнездами адаптера.

Схемы и конструкции генератора и гетеродина прибора одинотипны. Это обеспечивает одинаковый временной и температурный ход их частоты, что обуславливает постоянство настройки микровольтметра на частоту генератора. Кроме того, имеется подстройка частоты гетеродина.

3.4. Измерители параметров полевых транзисторов

Измеритель статических параметров полевых транзисторов Л2-31

Прибор (рис. 3.25) предназначен для измерения $U_{\text{ЗИ пор}}$, $U_{\text{ЗИ отс}}$, $g_{22и}$, $I_{\text{С нач}}$ и токов утечки между электродами.

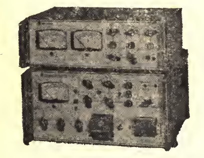


Рис. 3.25.

Основные технические характеристики

Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Погрешность измерения, %
Токи утечки	$(0,3-3)\cdot 10^{-12}$ А	30
	$(0,3-3)\cdot 10^{-11}$ А	20
	$3\cdot 10^{-11}-10^{-5}$ А	10
$I_{\text{С нач}}$	0,1—50 мА	2
$U_{\text{ЗИ пор}}$, $U_{\text{ЗИ отс}}$	0,3—30В	5
$g_{22и}$	2—1000 мкСм	10

Примечание. Диапазону измерения $U_{\text{ЗИ пор}}$, $U_{\text{ЗИ отс}}$ соответствует ток $I_{\text{С}}$, равный 1, 10, 100 мкА.

Источники напряжений затвора, стока и подложки обеспечивают напряжения 0,3—50 В при токе нагрузки 0—50 мА

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность не более 150 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Наименование	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Измерительный блок	490×480×255	32
Блок режимов	490×360×175	13

Прибор состоит из блока режимов и измерительного блока, соединяемых между собой специальным кабелем (рис. 3.26).

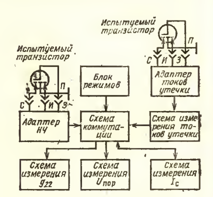


Рис. 3.26.

Источники питания измеряемых полевых транзисторов представляют собой полупроводниковые стабилизаторы регулируемого напряжения. Регулировка напряжений в нужных пределах производится грубо переключателем и плавно — потенциометром, выведенными на переднюю панель блока режимов.

Измеритель токов утечки собран в

литом алюминневом корпусе. Модуляцня нзмеряемого тока пронзводнтся с помощью дннамического конденсатора ДРК-2.

Токи утечкн нзмеряются с помощью отдельного присоединительного прнспособления, в котором прняняты все меры для исключения паразитных токов утечки в подключающнх адаптерах.

Кроме осиовного назначения, прнбор можно нспользовать для снятня статнческих характернстнк полевых транзнсторов.

Измеритель крутизны полевых транзисторов Л2-32

Измеритель (рнс. 3.27) предназначен для нзмерения крутизны S полевых транзисторов по затвору и по подложке на частоте 1 кГц в нормальном и инверсном включенни и крутизны по затвору на частотах 10, 20, 50 и 100 МГц.

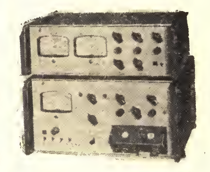


Рис. 3.27

Основные технические характерностики

Параметр	Днапазон измерения, мА/В	Амплитуда переменного сигнала, мВ	Погрешность измерения, %
S на НЧ	0,05—0,1 0,1—0,3 0,3—1 1—3 10—30	150 50 17 5 0,5	±10
S на ВЧ	0,05—1 1—3 3—10 10—30	50 17 5 1,7	±15

Испытательные режимы

Источник напряжения	Напряжение ист чника, В	Ток источника, мА	Погрешность установки напряжения, %
Затворов	0,3—50	—	1,5
	0,3—50	—	1,5
Подложки	0,3—3	5—50	1,5
Стока	3—50	0—50	1,5

Диапазон нзмерення тока в цепи стока 0,1—50 мА

Погрешность нзмерення тока ±2%

Питанне от сетн переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряженнем 220±22 В

Потребляемая мощность не более 100 ВА

Условия эксплуатацин: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% прн +30° С

Наименование	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Изнерительный блок	480×490×255	32
Блок режимов	360×490×175	13

Структурная схема нзмерення на НЧ прнведена на рнс. 3.28, а структурная схема измерения на ВЧ — на рнс. 3.29.

Гармоническое напряжение НЧ и ВЧ подается на затвор испытуемого транзистсра через делнтель напряження (аттенюатор пределов).

В цепн стока протекает перемен-

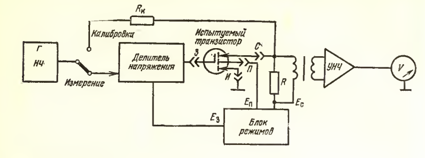


Рис. 3.28.

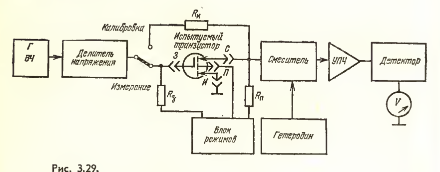


Рис. 3.29.

ный ток, пропорциональный крутизне. При измерении на НЧ сигнал усиливается усилителем низкой частоты, при измерении на ВЧ — поступает на смеситель и усиливается усилителем промежуточной частоты. Индикатор проградуирован в значениях S.

В приборе применены универсальные адаптеры, которые позволяют подключать полевые транзисторы с любой цоколевкой.

Кроме крутизны, прибор может измерять начальный ток стока, напряжение отсечки, а также снимать статические характеристики полевых транзисторов.

Измеритель емкостей полевых транзисторов Л2-34

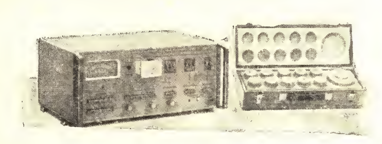


Рис. 3.30.

Прибор (рис. 3.30) предназначен для измерения входной, выходной и проходной емкостей полевых транзисторов.

Основные технические характеристики

Параметр	Диапазон измерения	Погрешность, %
$C_{11и}$, $C_{22и}$, пФ	0,3 —30	10
$C_{12и}$, пФ	0,03—30	10

Частота измерения 10 МГц ±10%

Амплитуда переменного напряжения на транзисторе не более 300 мВ

Диапазон установки режимов по постоянному току:

напряжения на затворах 1—29,9 В ступенями через 0,1 В,

напряжение на стоке 2—29 В ступенями через 1 В при нагрузке до 50 мА;

погрешность установки режима ±3% от установленной величины

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность не более 40 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +40° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

490×215×360 мм

Масса 15 кг

Работа прибора (рис. 3.31) основана на методе емкостно-омического делителя. Для этого в прибор введен задающий генератор и селективный вольтметр. Для измерения полевых тетродов в прибор включен источник напряжения для второго затвора.

Прибор обеспечивает декадную установку напряжений на затворах и стоке при помощи кодовых переключателей, что облегчает работу оператора и сокращает время измерения. К прибору придаются четыре сменных адаптера для подключения полевых транзисторов различных типов.

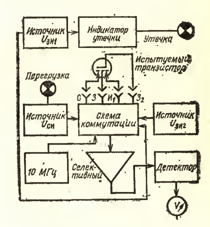


Рис. 3.31.

Устройство защиты источника $U_{СИ}$ от перегрузок по току отключает источник при подключении неисправного транзистора. Одновременно загорается индикаторная лампочка «ПЕРЕГРУЗКА». При открывании крышки блокировки с испытуемого транзистора снимаются все питающие напряжения. В случае подключения транзистора с большими токами утечки между затвором и истоком загорается сигнальная лампочка «УТЕЧКА».

Для поверки прибора придается комплект эталонных конденсаторов и переходное устройство для подключения их к измерителю емкостей Е8-2.

Помимо основного назначения, прибор можно использовать для снятия вольт-амперных характеристик полевых транзисторов, для измерения порогового напряжения и напряжения отсечки и для измерения начального тока стока. Кроме того, можно оценить крутизну полевого транзистора по приращениям на постоянном токе.

3.5. Измерители параметров диодов

Измеритель статических параметров туннельных диодов Л2-26

Прибор (рис. 3.32) предназначен для измерения статических параметров туннельных диодов.

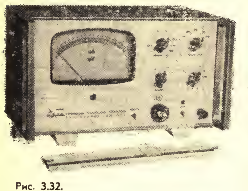


Рис. 3.32.

Основные технические характеристики

Параметры	Диапазон измерения	Погрешность, %
$I_п$ мА	0,1—120	±1,5
$I_в$, мА	0,1—120	±2,5
U_{pp}, В	0,3—1,5	±3
	30—100	±10
$U_п$; $U_в$ мВ	100—200	±6
	200—700	±5

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400 Гц $^{+7\%}_{-3\%}$, напряжением 220±11 В

Потребляемая мощность не более 50 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры 370×216×361 мм

Масса 12 кг

Структурная схема измерителя приведена на рис. 3.33.

Метод измерения основан на определении параметров вольт-амперной характеристики туннельного диода по индикации момента его переключения при подаче тока или напряжения, большего, чем экстремальный

При измерении $I_п$ и $I_в$ запоминающее устройство выдает линейно-нарастающее напряжение, которое при помощи регулируемого источника тока задает ток через измеряемый диод. С другой стороны на диод из схемы сброса подается ток противоположной полярности. При переходе рабочей точки с падающей ветви на восходящую происходит скачок напряжения, на который реагирует анализатор. Ток, протекающий в цепи диода, измеряется индикатором. При измерении $U_п$, $U_в$ и U_{pp} анализатор отключается от запоминающего устройства, а к измеряемому диоду подключается индикатор. Применение

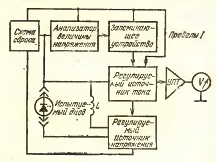


Рис. 3.33.

анализатора и запоминающего устройства позволяет значительно сократить время измерения параметров туннельных диодов.

В связи с возможным выходом из строя туннельных диодов из арсенида галлия при превышении допустимого прямого тока и из-за неконтролируемых переходных разрядных токов, возникающих при коммутации, в измерителе предусмотрена защита. Прибор оснащен адаптером, при помощи которого можно измерять туннельные диоды с плоскими выводами и диоды таблеточного типа,

3.6. Измерители параметров цифровых интегральных схем

Измеритель временных параметров интегральных логических схем Л2-33А

Прибор (рис. 3.34) предназначен для контроля и разбраковки интегральных логических схем, выполняющих функции И, ИЛИ, НЕ по динамическим параметрам.

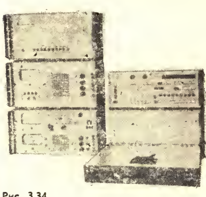


Рис. 3.34.

Основные технические характеристики

Количество выводов ИС до 18, в том числе входов до 9, выходов до 4

Диапазон измерения динамических параметров 3—1000 нс на пределах 10, 100, 1000 нс

Относительная погрешность измерения динамических параметров

$$\pm(0,05\, t_x + 0,003\, t_к/t_x + 0,75)\ нс,$$

где t_x — измеряемая величина; $t_к$ — пределы измерения.

Входное сопротивление не менее 1 МОм

Входная емкость не более 15±3 пФ

Параметры тестовых импульсов:

амплитуда ±(0,5—10) В

время нарастания спада 5, 10, 30, 50, 100 нс,

спад плоской части не более 5% амплитуды импульсов,

выбросы на вершине импульсов не превышают ±5% амплитуды импульсов;

длительность 2,5 мкс,

частота повторения (10±2) кГц,

относительная погрешность измерения амплитуды импульсов $\pm(3+U_к/U_x)$ %.

Параметры вспомогательных импульсов:

амплитуда ±6 В,

длительность 2 мкс,

время нарастания 100 нс,

время задержки тестовых импульсов относительно вспомогательных 50—500 нс

Параметры источников питания ИС:

количество источников 3,

выходное напряжение 1—10 В,

максимальный ток нагрузки 120 мА,

относительная погрешность измерения выходного напряжения $\pm(0,03\, U_{вых} + 20\ мВ)$

Быстродействие прибора 20 тест/с

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры:

490×475×255 м — 5 блоков,

485×455×85 мм — 1 блок

Масса общая 140 кг

Измеритель временных параметров интегральных логических схем Л2-33А конструктивно состоит из шести отдельных блоков: блока преобразования, первичного преобразователя, индикатора, блока режимов, блоков питания *1* и *2*.

Блок преобразования и первичный преобразователь предназначены для преобразования временных параметров цифровых ИС в код. С помощью индикатора осуществляется управление процессом измерения, а также световая индикация режима измере-

иия. На передней панели индикатора размещены все основные органы управления измерителем и индикатором. Блок режимов обеспечивает испытуемую ИС постоянными питающими напряжениями и импульсными сигналами.

Блок питания *1* предназначен для задания напряжений уровней отсчета времени переходного процесса ИС, а также для питания индикатора и блока преобразования. Блок питания *2* осуществляет питание блока преобразования индикатора.

Измеритель работает следующим образом. Напряжения постоянного тока, предназначенные для питания ИС, и тестовые импульсы необходимой амплитуды подаются из блока режимов на испытуемую ИС. Сигнал переходного процесса, снятый с соответствующего выхода ИС, поступает в блок преобразования, где производится определение параметров ИС. Измерение осуществляется по методу временного амплитудного преобразования, т. е. измеряемый временной интервал сигнала преобразуется в амплитуду импульсов, а затем в код.

В приборе предусмотрены выходы для подключения внешнего цифропечатающего устройства, на которые выдается информация о номерах измеряемой ИС и выхода параметра, а также о форме испытательного сигнала и результате измерения.

В режиме классификации прибор осуществляет разбраковку ИС по измеряемым параметрам на три группы: «Группа А», «Группа Б» и «Не годен». В приборе имеются выходы, предназначенные для подачи на внешнее автопогрузочное устройство сигналов о номерах групп и окончании процесса классификации.

Кроме основного назначения, прибор Л2-33А позволяет измерять временные параметры маломощных быстродействующих транзисторов *p—n—p* и *n—p—n*-типов, такие как времена задержки включения и выключения, нарастания, спада и рассасывания.

Измеритель временных параметров интегральных логических схем автоматический Л2-35А

Прибор (рис. 3.35) предназначен для высокопроизводительного измерения и разбраковки цифровых интегральных схем по динамическим параметрам.

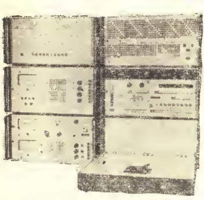


Рис. 3.35.

Основные технические характеристики те же, что и у прибора Л2-33А.

Габаритные размеры:

490×475×255 мм — 6 блоков,

485×455×85 мм — 1 блок

Масса общая 168 кг

Прибор Л2-35А состоит из двух основных частей: измерителя временных параметров логических интегральных схем Л2-33А и блока программирования. Прибор Л2-33А выполняет все измерительные функции. Он обеспечивает подачу на подключенную к нему проверяемую ИС напряжений питания, напряжений статических состояний и тест-импульсов, коммутацию выводов проверяемой ИС, преобразование измеряемых временных параметров в код, сравнение этих параметров с заданными допустимыми значениями, визуальную и цифровую индикацию

результатов измерения и классификации, управление процессом измерения и классификации. Прибор Л2-33А выдает сигналы управления блоком программирования, а также сигналы управления внешним автопогрузочным устройством.

Блок программирования выполняет функции программного управления работой измерителя Л2-33А. Он задает последовательность измеряемых временных параметров, статические состояния входов проверяемой ИС, форму сигнала на входе испытуемой ИС, диапазон работы измерителя и номинальные значения допусков для измеряемых временных параметров.

Кроме основного назначения, прибор Л2-35А позволяет измерять в автоматическом режиме временные параметры маломощных быстродействующих транзисторов *p—n—p* и *n—p—n*-типов, такие как времена задержки включения и выключения, нарастания, спада и рассасывания.

Испытатель интегральных схем Л2-41

Прибор (рис. 3.36) предназначен для определения годности интегральных цифровых схем путем их проверки на выполнение логических функций И, ИЛИ, НЕ.

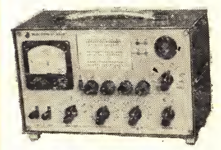


Рис. 3.36.

Основные технические характеристики

Количество выводов ИС до 16

Диапазон измерения напряжения постоянного тока 0,1—30 В

Относительная погрешность измерения напряжения постоянного тока не более 4% от верхнего предела шкалы прибора

Количество источников напряжения постоянного тока 2

Выходное напряжение источников ± (0,05—10) В

Диапазон установки напряжений логических уровней

$$U^0 = \pm(0,2-1,3)\ \text{В},$$
$$U^1 = \pm(U^0 - 9)\ \text{В}$$

Питание: 10 элементов типа «Марс» (общее напряжение 13,5—15 В)

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность менее 95% при +30° С

Габаритные размеры

300×203×165 мм

Масса 5,5 кг

Принцип работы прибора (рис. 3.37) основан на измерении напряжения на выходах ИС при заданных переключаемых уровнях напряжения, подаваемых на входы. На проверяемую ИС, подключенную к источнику регулируемых напряжений через контактную головку, подаются напряжения постоянного тока от двух источников. Поле программирования позволяет подключить ИС с любой цоколевкой. Источник уровня, подключаемый к любому выводу, позволяет подать нужный перепад напряжения на любой вход ИС. При помо-

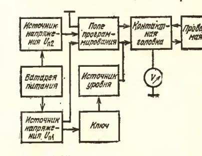


Рис. 3.37.

щи ключа вырабатываются переключаемые нулевой и единичный уровни напряжения сигнала, осуществляющего возбуждение источника уровня. Последний вырабатывает регулируемые напряжения логического нуля и логической единицы, которые могут быть поданы на ИС положительной либо отрицательной полярностью в зависимости от полярности напряжений постоянного тока.

Вольтметр предназначен для установки и проверки напряжений питания и уровня входных и выходных сигналов. По результатам измерения проверяемой ИС можно судить о ее исправности и возможности выполнения определенных логических функций (И, ИЛИ, НЕ).

Портативность и простота эксплуатации прибора делают его незаменимым при простой проверке и определении неисправности небольших партий цифровых ИС перед сборкой и при ремонте радиоэлектронной аппаратуры.

Список литературы

1. **Транзисторы.** Параметры, методы измерений и испытаний. Под ред. И. Г. Бергельсона, Ю. А. Каменецкого, И. Ф. Николаевского. М., «Сов. радио», 1968. Авт. М. Г. Агапова, В. Л. Аронов, И. Г. Бергельсон и др.

2. **Полупроводниковые диоды.** Параметры, методы измерений. Под ред. Н. Н. Горюнова, Ю. Р. Носова, М., «Сов. радио», 1968. Авт. И. И. Абкевич, Ю. С. Акимов, В. Л. Аронов и др.



Глава 4

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТОВ И ЦЕПЕЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПОСТОЯННЫМИ

4.1. Общие сведения

Основным признаком, объединяющим приборы для измерения параметров цепей с сосредоточенными постоянными, является вид измеряемых величин — составляющих комплексного сопротивления или проводимости.

В данной главе рассматриваются следующие виды приборов:

— измерители индуктивности;
— измерители добротности;
— измерители сопротивлений;
— измерители параметров универсальные;
— измерители емкости.

Приборы каждого вида позволяют непосредственно отсчитывать измеряемую величину. Кроме того, с их помощью можно измерять и другие параметры (как непосредственно, так и косвенно), не являющиеся обязательными для данного вида приборов. Так, с помощью измерителя добротности можно рассчитать индуктивность катушки, зная величину емкости, соответствующую условию резонанса. Измеритель емкости может использоваться для определения значения тангенса угла потерь.

Все измерители конструктивно выполнены в виде самостоятельных приборов. На передней панели их расположены все основные органы управления и отсчета.

Информация о результатах измерения, управляющие и служебные сигналы приборов подаются на разъемы, расположенные на задней панели приборов. Такое выполнение, особенно цифровых приборов, позволяет агрегатировать их в стойку с другими цифровыми измерителями и устройствами сбора и обработки данных при организации измерительных систем.

Параметры компонентов цепей с сосредоточенными постоянными

В цепях с сосредоточенными постоянными определенные процессы, обусловленные распространением электромагнитной энергии через цепь, происходят в отдельных, не зависимых друг от друга элементах. Так, тепловое рассеяние энергии происходит в активном сопротивлении, магнитное поле сосредотачивается в индуктивности, а электрическое поле — в емкости. Такое рассмотрение допустимо только в ограниченном диапазоне частот, где длина волны электромагнитных колебаний значительно превышает геометрические размеры цепи передачи.

Цепи переменного синусоидального тока характеризуются комп-

лексным сопротивлением $\dot{Z}$, устанавливающим зависимость между напряжением и током, действующими в цепи:

$$\dot{Z} = \dot{U}/\dot{I}.$$

Это сопротивление обычно представляют в виде последовательно соединенных активного R и реактивного X сопротивлений

$$\dot{Z} = R + jX,$$

где $j = \sqrt{-1}$ означает, что фазовый сдвиг φ между током и напряжением на реактивном сопротивлении составляет 90° и, следовательно, в нем не происходит поглощения энергии.

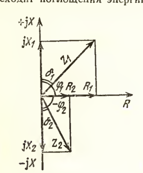


Рис. 4.1.

Графически комплексное сопротивление можно изобразить в виде вектора на плоскости R, jX (рис. 4.1). Угол наклона вектора $\dot{Z}$ к оси R (его положительное направление отсчитывается против часовой стрелки) является фазовым сдвигом φ между напряжением и током в рассматриваемой цепи. Если $X > 0$, то $\varphi > 0$ и напряжение опережает ток по фазе, что соответствует присутствию в цепи индуктивности. Сопротивление в этом случае называется индуктивным и отображает явление самоиндукции

$$X_1 = \omega L \quad (X > 0).$$

При $X < 0$, $\varphi < 0$ напряжение в цепи отстает по фазе от тока, что соответствует емкостному характеру цепи. Сопротивление X_2 в этом случае отражает процесс перезаряда емкости под действием переменного синусоидального напряжения и называется емкостным:

$$X_2 = -1/\omega C \quad (X < 0).$$

В общем виде $\dot{Z} = R_s \pm jX_s$.

Символы «s» означают, что составляющие $\dot{Z}$ образуют последовательную цепь.

В отдельных случаях удобней использовать обратную комплексному сопротивлению величину $\dot{Y}$, получившую название комплексной проводимости:

$$\dot{Y} = \dot{I}/\dot{U}.$$

Если $\dot{Z}$ представляет собой последовательно соединенные активное и

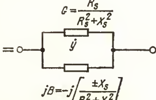


Рис. 4.2.

реактивное сопротивления, то Y характеризует параллельную комбинацию активной и реактивной проводимостей (рис. 4.2);

$$\dot{Y} = G \pm jB = \frac{1}{\dot{Z}} = \frac{1}{R_s \pm jX_s} =$$

$$= \frac{R_s}{R_s^2 + X_s^2} - j\left[\frac{\pm X_s}{R_s^2 + X_s^2}\right].$$

Очевидно, что при индуктивном характере ($X_s > 0$) реактивная проводимость отрицательна, а при емкостном ($X_s < 0$) — положительна.

Обозначая параметры параллельной цепи символом «р», получаем

$$B=\omega C_p \quad (B>0),$$
$$B=-1/\omega L_p \quad (B<0),$$
$$G=1/R_p.$$

В общем случае, когда в цепи присутствуют и емкость, и индуктивиость, X_s и B являются результирующими сопротивлениями или проводимостями. Таким образом, любую электрическую цепь можио охарактеризовать либо комплексиым сопротивлеиием, либо комплексиой проводимостью, т. е. представить последовательиой или параллельной схемой замещеиия, независимо от ее физической структуры.

Параметры параллельиой схемы замещеиия связаны с параметрами последовательной схемы следующим образом:

$$R_s=G/G^2+B^2;$$
$$jX_s=-j\,[\pm B/G^2+B^2].$$

Для устройств и цепей с преобладающей реактивиой составляющей (конденсатор или катушка индуктивности) комплексиые сопротивлеиие и проводимость можио представить в виде

$$\dot Z=X\left(j+\frac{R_s}{X_s}\right)=$$
$$=X\,(j+\operatorname{tg}\delta)=X\left(j+\frac{1}{Q}\right);$$

$$\dot Y=B\left(j+\frac{G}{B}\right)=B\,(j+\operatorname{tg}\delta)=$$
$$=B\left(j+\frac{1}{Q}\right).$$

Активиую составляющую в этом случае можио охарактеризовать величииами таигеиса угла потерь (tgδ) или добротиости Q. Первая из иих преимуществеиио используется для оцеики качества коидеисаторов, вторая — катушек индуктивиостей.

Угол δ является дополнительиым к φ (рис. 4.1), а следовательио, добротиость $Q=\operatorname{tg}\varphi$.

Часто реактивиую составляющую комплексиого сопротивлеиия или проводимости удобиее выразить иепосредствеиио через индуктивиость или емкость:

$$L_s=X_s/\omega;$$
$$C_p=B/\omega.$$

При емкостиом реактивиом сопротивлеиии ($X_s<0$) L_s отрицательиа и определяется выражеиием

$$L_s=-1/\omega^2 C_s.$$

Аиалогичио при $B<0$

$$C_p=-1/\omega^2 L_p.$$

Таким образом, отрицательиая индуктивиость является показателем емкостиого реактивиого сопротивлеиия, а отрицательиая емкость — показателем индуктивиой проводимости цепей.

На постояииом токе едииствеииым параметром, определяющим соотиошения между током и иапряжеиием цепи, является сопротивление.

4.2. Схемы измерения индуктивностей, емкостей и сопротивлений

Метод омметра

Этот метод объедииияет ряд способов измерения сопротивления, осиоваиных иа определеиии величии токов или иапряжеиий, пропорциоиальиых значеииям измеряемого сопротивления. Схемы измерения этими способами просты, ио обеспечивают погрешиости измерения ие лучше $\pm(1{,}5\text{—}2)\,\%$.

Наиболее распростраиеииые схемы, используемые для построеиия таких приборов, как омметры, приведеиы иа рис. 4.3 и 4.4.

Перед включеиием R_x в измерительиую схему (рис. 4.3) зажимы a—a замыкают иакоротко и, измеияя сопротивлеиие R, устанавливают амперметр A иа иомииальиое значе-

ние шкалы (установка условного нуля). Если затем к зажимам a—a подключить R_x, то ток в цепи уменьшит-

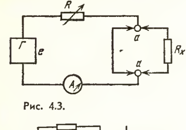


Рис. 4.3.

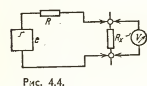


Рис. 4.4.

ся пропорционально значению R_x. Шкала амперметра градуируется непосредственно в значениях R_x. Устройство, построенное по этой схеме, используется для измерения сопротивления от единиц ом до нескольких сотен мегом.

В схеме рис. 4.4 R_x питается от генератора тока с напряжением e и внутренним сопротивлением R, а падение напряжения U_x на R_x измеряется вольтметром V:

$$U_x = \frac{R_x}{R_x + R} e \approx \frac{R_x}{R} e.$$

Шкала вольтметра градуирована в единицах сопротивления.

Отличительной особенностью метода является то, что сопротивления соединительных проводов и переходные сопротивления контактов слабо влияют на результат измерения, так как они оказываются включенными последовательно с сопротивлением R и с достаточно большим входным сопротивлением вольтметра. Схемы такого рода называются четырехзажимными (по числу присоединительных зажимов) в отличие от схемы на рис. 4.3, называемой двухзажимной.

Четырехзажимные схемы используются для измерения сопротивлений от десятитысячных долей до нескольких сотен ом.

Метод преобразования величины измеряемого параметра в пропорциональное ему напряжение

Метод основан на использовании усилителей с отрицательной обратной связью (рис. 4.5), называемых опе-

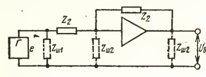


Рис. 4.5.

рационными. Выходное напряжение схемы

$$\dot{U}_{\text{вых}} = -e\,\frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1}\,\frac{1}{1 + 1/K\beta},$$

где K — коэффициент усиления усилителя без обратной связи; $\beta = \dot{Z}_1/(\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2)$ — коэффициент обратной связи. При достаточно большом K ($K\beta \gg 1$)

$$\dot{U}_{\text{вых}} = -e\dot{Z}_2/\dot{Z}_1.$$

Если измеряемый импеданс поместить в цепь обратной связи ($Z_x = Z_2$), то выходное напряжение усилителя будет пропорционально значению измеряемого комплексного сопротивления:

$$\dot{U}_{\text{вых}} = K_1\,\dot{Z}_x.$$

Если неизвестный импеданс поместить на вход усилителя ($\dot{Z}_x = \dot{Z}_1$), то выходное напряжение пропорционально измеряемой комплексной проводимости:

$$\dot{U}_{\text{вых}} = K_2\,\dot{Y}_x.$$

Метод используется как на постоянном токе, так и на переменном (в диапазоне частот до нескольких мегагерц).

Следует отметить, что паразитные импедансы с любого конца Z_1 и Z_2 ($Z_{ш1}$, $Z_{ш2}$, $Z_{ш3}$) мало влияют на результат измерения, так как внутреннее сопротивление источника e, а также входное и выходное сопротивления усилителя, охваченного глубокой отрицательной связью, невелики. Это свойство схемы позволяет измерять проходной импеданс в треугольнике импедансов. Для исключения шунтирующего влияния входных и выходных импедансов их общую точку соединяют с общей точкой схемы. Такая схема включения измеряемого объекта называется трехзажимной.

Резонансные методы измерения

Метод куметра. Измеритель добротности (рис. 4.6) представляет последовательный колебательный контур, образованный катушкой индуктивности, параметры которой измеряются, и конденсатором переменной емкости, обеспечивающим настройку контура в резонанс на частоте питающего напряжения ω.

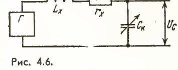


Рис. 4.6.

При настройке контура в резонанс напряжение на нем определяется выражением

$$U_C = e\sqrt{1+Q^2}.$$

При достаточно больших добротностях $U_C = eQ$.

Искомая индуктивность находится как

$$L_x = 1/\omega^2 C_к,$$

где $C_к$ — емкость конденсатора в момент резонанса.

Используя вспомогательную катушку индуктивности, этим методом можно измерять комплексное сопротивление, в том числе и с емкостным характером реактивности. Метод применим в широком диапазоне частот: от десятков герц до нескольких сотен мегагерц. Погрешность измерения добротности, в основном определяемая погрешностью вольтметров, измеряющих e и U_C, и комплексным характером импеданса конденсатора $C_к$, составляет 3—5% на низких и средних частотах и 15—20% в диапазоне до 300 МГц.

Метод двух генераторов. Метод измерения основан на сравнении частот двух генераторов с самовозбуждением, в резонансный контур одного из которых включена измеряемая реактивность, а резонансный контур второго образован образцовыми реактивными элементами (рис. 4.7)

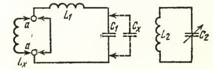


Рис. 4.7.

Первоначально измерительные зажимы a—a контура генератора *1* замыкают и, изменяя емкость конденсатора C_2, устанавливают частоту генератора *2* равной частоте генератора *1* так, что выполняется условие

$$C_1 L_1 = C_2' L_2.$$

Затем к зажимам a—a подключают катушку индуктивностью L_x; вновь изменяя емкость конденсатора C_2, достигают равенства частот генераторов. В этом случае имеем

$$(L_x + L_1)\, C_1 = C_2'' L_2$$

или с учетом первоначальной установки

$$L_x = (L_2/C_1)(C_2'' - C_2').$$

Если необходимо измерить емкость, конденсатор включают параллельно C_1. Выполняя те же операции настройки, получаем

$$C_x = (L_2/L_1)(C_2'' - C_2').$$

Основной недостаток метода заключается в том, что невозможно измерить потери в конденсаторах и катушках индуктивности, а также в том, что погрешности измерения значительно возрастают, если измеряемые реактивности обладают большими потерями ($Q < 10$).

Отличительной особенностью метода является высокая разрешающая способность, что позволяет использовать его для измерения малых изменений параметров компонентов.

Уравновешенные (нулевые) измерительные цепи

Уравновешенными называются измерительные цепи, в которых для достижения определенных соотношений между комплексным сопротивлением или проводимостью, подлежащими измерению, и величинами элементов измерительной цепи ток или напряжение, действующие на определенных участках этой цепи, приводится к нулевому значению путем изменения величин ее отдельных элементов.

Эта операция носит название процесса уравновешивания (балансирования) цепи.

Уравновешенные измерительные цепи обеспечивают наиболее высокую точность измерения, однако довольно сложный процесс приведения устройства к балансу делает его неудобным в эксплуатации при ручном методе регулировки.

К уравновешенным цепям относится широкий класс мостовых и компенсационных схем.

Четырехплечие мосты. При достижении нулевого равновесия ($U_{вых} = 0$) четырехплечего моста

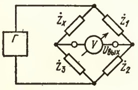


Рис. 4.8.

(рис. 4.8) между измеряемым комплексным сопротивлением $\dot{Z}_x$ и комплексными сопротивлениями образцовых плеч $\dot{Z}_1$, $\dot{Z}_2$, $\dot{Z}_3$ устанавливается соотношение

$$\dot{Z}_x = \dot{Z}_1 \dot{Z}_3 / \dot{Z}_2.$$

При измерении сопротивлений постоянному току образцовые плечи выполняются из резисторов. На переменном токе для выполнения условия баланса для активных и реактивных составляющих $\dot{Z}_x$ по крайней мере одно из вспомогательных плеч должно быть комплексным.

В зависимости от расположения комплексного плеча в схеме, его структуры и выбора регулируемых компонентов измеряемый объект может быть измерен по любой схеме замещения, а его активная составляющая представлена в виде сопротивления, тангенса угла потерь или добротности. Кроме того, четырехплечие мосты обеспечивают измерения при двух-, трех- и четырехзажимном включении измеряемого объекта. Это позволяет использовать четырехплечий мост для создания универсальных измерителей *L*, *C*, *R* на основе одних и тех же элементов схемы при различных вариантах включения. Погрешности измерения мостового метода определяются только погрешностями вспомогательных плеч моста и не зависят от питающего мост напряжения. Четырехплечие мосты применяются в широком диапазоне частот (от постоянного тока до 300 МГц), обеспечивая высокую точность измерения (от тысячных долей процента

на низких частотах до 2—5% в дециметровом диапазоне).

Трансформаторные мосты. Трансформаторные мостовые устройства (рис. 4.9) используют свойства цепей с сильной индуктивной связью, при которой отношения напряжений и токов, действующих в них, строго определяются отношением чисел витков соответствующих обмоток.

Рис. 4.9.

Трансформатор напряжения *Тр1* (рис. 4.9) формирует напряжения, действующие на измеряемом $\dot{Z}_x$ и образцовом $\dot{Z}_0$ комплексных сопротивлениях, а в трансформаторе тока *Тр2* происходит сравнение токов, протекающих через эти сопротивления. Обмотки n_1 и n_2 включены согласно, n_3 и n_4 — встречно.

Условия равновесия схемы ($U_{\text{вых}}=0$) выполняются при

$$\dot{I}_x n_3 = \dot{I}_0 n_4.$$

Так как

$$\dot{I}_x = e\frac{n_1}{n}\frac{1}{\dot{Z}_x};$$

$$\dot{I}_0 = e\frac{n_2}{n}\frac{1}{\dot{Z}_0},$$

то

$$\dot{Z}_x = \dot{Z}_0\frac{n_1}{n_2}\frac{n_3}{n_4}.$$

Таким образом, условия равновесия трансформаторного моста определяются стабильным и не зависящим от влияния внешних факторов отношением чисел витков. В этом случае образцовый импеданс можно выполнить постоянным, а баланс устройства достигается путем изменения числа витков *Тр1* и *Тр2*.

Большим преимуществом устройства является слабое влияние импедансов, шунтирующих обмотки трансформаторов, так как импедансы рассеяния трансформаторных плеч весьма малы и устройство позволяет производить измерения при трехзажимном включении измеряемого объекта.

Все эти свойства определяют высокие метрологические характеристики трансформаторных мостов, погрешность которых в диапазоне звуковых частот может составлять 0,001—0,01%. Мостовые трансформаторные устройства используются в диапазоне частот до 250—300 МГц.

Нулевые цепи с использованием преобразователей параметр — напряжение. В настоящее время получили широкое распространение нулевые измерительные цепи (рис. 4.10, 4.11), в которых величина измеряемого комплексного сопротивления (проводимости) преобразуется операционными усилителями в пропорциональное ему напряжение, сравниваемое или компенсируемое напряжением, пропорциональным значению величин образцовых элементов схемы. Формирование компенсирующего напряжения (тока), а также сравнение и компенсация напряжений в ряде случаев осуществляется трансформаторными плечами.

Операционные усилители обеспечивают высокую защищенность устройств от паразитных параметров (возможны измерения по трех- и четырехзажимным схемам включения), а трансформаторные плечи позволяют применять образцовые меры и обеспечивают высокие метрологические характеристики измерительной цепи.

В плече *ab* (рис. 4.10) измеряемая комплексная проводимость Y_x преобразуется в пропорциональное ей напряжение на выходе $У_1$:

$$U_{\text{вых}} = \dot{Y}_x Re.$$

Усилитель $У_2$ обеспечивает высокое входное сопротивление в плече сравнения *kl*.

Условия равновесия определяются соотношением

$$\dot{Y}_x = \dot{Y}_0\frac{n_2}{n_1}\frac{n_4}{n_3}\frac{g}{R}.$$

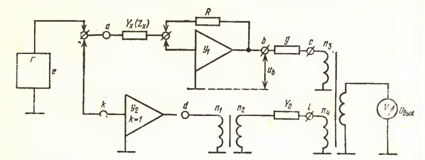


Рис. 4.10.

Для схемы рис. 4.11, отличающейся от схемы рис. 4.10 тем, что плечи bc и dl переставлены местами, условия равновесия имеют вид

Рис. 4.11.

$$\dot{Z}_x = \dot{Y}_0 \frac{n_2}{n_1} \frac{n_3}{n_4} \frac{R}{g},$$

следовательно, устройством, построенным по схеме рис. 4.10, объект измеряется в параллельной схеме замещения, а устройством, построенным по схеме рис. 4.11, — в последовательной.

Оба устройства обеспечивают измерения как при трех-, так и при четырехзажимной схеме включения. Процесс уравновешивания осуществляется изменением числа витков трансформаторных плеч.

Цифровые измерители параметров цепей с сосредоточенными постоянными

Цифровые измерители параметров цепей с сосредоточенными постоянными позволяют автоматизировать процесс измерения характеристик исследуемого объекта и выдавать результаты измерения непосредственно в цифровой форме, что обеспечивает высокие метрологические свойства этих приборов.

Уравновешивающие цепи цифровых измерителей выполняются в виде устройств со ступенчатым изменением значения величины сопротивления, емкости или в виде секций трансформаторов, весовые соотношения ступеней которых, как правило, выдержаны в соответствии с одним из двоично-десятичных кодов. Кодированное состояние регулируемых органов и является при достижении баланса измерительного устройства результатом измерения.

Сигналы управления регулирующими органами формируются из напряжения или тока разбаланса нулевой цепи и определяют направление необходимых для достижения баланса регулировок.

В уравновешивающих цепях постоянного тока с одним регулирующим органом направление регулировок однозначно определяется совпадением или несовпадением полярностей напряжения, которое питает устройство, и напряжения разбаланса.

В уравновешивающих цепях переменного тока, где состояние равновесия достигается регулированием двух органов, сигналы управления формируются из сигнала разбаланса двумя фазочувствительными детекторами, знаки выходных сигналов которых используются для определения направления изменения регулировок.

По способу поиска состояния равновесия цифровые измерители разделяются на приборы с однонаправленным и со следящим уравновешиванием. В первых процесс измерения происходит циклами, и регулирующие параметры изменяются по определенной программе в одну сторону (обычно от больших весовых значений к меньшим), при этом состояние каждого регулирующего органа в пределах цикла не повторяется.

Процесс уравновешивания заканчивается при окончании отработки программы весами младшего разряда. Затем цикл измерения может повторяться.

При следящем уравновешивании балансирование измерительного прибора может начинаться с любых значений регулировок, которые могут меняться в любую сторону. Процесс уравновешивания заканчивается только при достижении измерительным устройством состояния равновесия. Преимущество способа следящего уравновешивания перед однонаправленным поиском заключается в меньшей динамической погрешности при измерении меняющихся во времени величин.

Цифровые измерители обладают значительными достоинствами по сравнению с приборами ручного управления: более высоким быстродействием, исключением субъективной ошибки оператора при отсчете результатов измерения, а также возможностью объединения измерителей с другими цифровыми приборами и устройствами обработки цифровой информации в автоматических системах, решающих комплекс измерительных задач.

4.3. Измерители индуктивности

Измеритель индуктивности низкочастотный Е3-3

Прибор (рис. 4.12) предназначен для измерения параметров катушек индуктивности в различных энергетических режимах по постоянному и переменному токам на звуковых частотах.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения индуктивности 0,01—1000 Г на пределах 0,1—1—10—100—1000 Г

Рабочие частоты 55, 100, 400 и 1000 Гц

Схема замещения	Добротность на частотах	
	55 Гц	100; 400; 1000 Гц
Последовательная	1—8	1—17
Параллельная	8—50	17—100

Напряжение на измеряемом объекте 0,1—150 В

Ток подмагничивания 0,001—5 А

Погрешность измерения сопротивления в последовательной цепи замещения ±(0,1—0,25) от значения сопротивления

Индуктивность, Г	Погрешность измерения	Частота измерения, Гц
0,01—10	$\pm 0{,}01L$	10^3
0,1 —100	$\pm 0{,}01L$	100
0,1 —10	$\pm 0{,}01L$	400
0,01—0,1	$\pm 0{,}02L$	400
1,0 —100	$\pm 0{,}02L$	55
0,1 —1,0	$\pm 0{,}03L$	55

Погрешность измерения сопротивления в параллельной схеме замещения ±(0,05—0,25) от значения сопротивления.

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В.

Условия эксплуатации: температура до +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

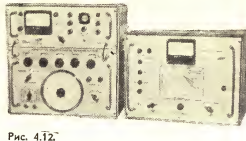


Рис. 4.12.

Характеристики	Измеритель ЕЗ-2	Блок питания
Потребляемая мощность, ВА	150	200
Габаритные размеры, мм	508×515×400	508×406×400
Масса, кг	50	40

Измеритель индуктивности ЕЗ-3, структурная схема которого приведена на рис. 4.13, конструктивно выполнен в виде двух самостоятельных приборов переносного типа. Первый из них — мостовой измеритель индуктивности, второй — блок питания БП-11 — источник тока смещения для измеряемых индуктивностей. Мостовой измеритель состоит из двух блоков. В верхнем помещены *RC*-генератор с двухтактным усилителем мощности и фазовращателем на трансформаторе и *RC*-цепи, осциллографический индикатор разбаланса

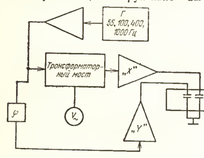


Рис. 4.13.

с электронно-лучевой трубкой с усилителями вертикального и горизонтального отклонения и вольтметр для измерения переменного напряжения на измеряемой индуктивности. В нижнем блоке расположен собственно измеритель — трансформаторный мост, который соединяется с усилителем мощности генератора и индикатором разбаланса переходными кабелями.

Прибор измеряет индуктивность и активное сопротивление катушек по параллельной или последовательной схеме замещения (в зависимости от добротности катушки). Для определения добротности следует пользоваться расчетными формулами.

В приборе предусмотрена возможность плавного изменения переменного напряжения на измеряемом объекте и постоянного тока через него, что позволяет всесторонне исследовать свойства как катушек с ферромагнитными сердечниками, так и материалов для магнитопроводов.

Осциллографический индикатор баланса позволяет определять составляющую, по которой требуется регулировка баланса.

Генератор, индикатор и источник смещения прибора можно заменить любыми другими внешними приборами, обеспечивающими необходимые характеристики измерителя. Измерения ими можно производить в плавном диапазоне частот в пределах 50—1000 Гц. В качестве генератора можно использовать звуковые генераторы ГЗ-33 и ГЗ-34. С помощью моста можно также измерять чисто активные сопротивления, если воспользоваться параллельной схемой и отключить образцовую индуктивность.

4.4. Измерители добротности

Измеритель добротности Е4-5А

Измеритель (рис. 4.14) предназначен для измерения добротности катушек индуктивности, а также их емкости и резонансной частоты.

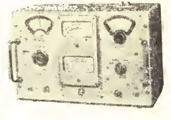


Рис. 4.14.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения добротности катушек индуктивности 5—1200 (на двух шкалах 0—100 и 0—400 с множителями 1,5; 2 и 3)

Диапазон изменения емкости контура 10—100 пФ

Диапазон частот 15—250 МГц

Погрешность измерения добротности катушек индуктивности ±10% на частотах 15—100 МГц (на частотах, больших 100 МГц, не нормируется).

Погрешность индикации частоты ±2%

Погрешность индикации емкости контура ±1 пФ

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность около 130 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

450×250×300 мм

Масса 13 кг.

В основу работы прибора (рис. 4.15) положен метод настройки контура в резонанс.

Конструктивно измеритель выполнен в виде прибора переносного типа. К прибору придается комплект катушек индуктивностей, что обеспечи-

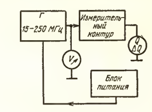


Рис. 4.15.

вает измерение комплексных сопротивлений во всем рабочем диапазоне частот.

Прибор позволяет как отсчитывать добротность катушек индуктивности непосредственно по шкалам, так и определять ее методом отстройки от резонанса, изменяя частоту или емкость.

Кроме измерения добротности, прибор позволяет измерять индуктивность, межвитковую и резонансную емкость катушек, резонансную частоту контуров, а также определять значения активной и реактивной составляющих комплексного сопротивления. В последнем случае (при $Q \geqslant 100$) измерение осуществляется по приращению добротности, что повышает разрешающую способность измерителя и точность измерений. С помощью прибора можно найти тангенс угла потерь диэлектриков и исследовать свойства электромагнитных материалов. Его можно использовать в качестве генератора высокочастотных колебаний.

Прибор можно применять при исследовании электроматериалов, конденсаторов, катушек индуктивностей и резисторов, а также для контроля в процессе их производства.

Измеритель добротности Е4-7

Прибор (рис. 4.16) предназначен для измерения добротности катушек индуктивности, а также их емкости и резонансной частоты.

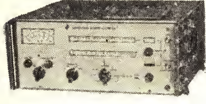


Рис. 4.16.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения добротности катушек индуктивности 5—1000 на пределах 30—100—300—1000

Диапазон измерения приращения добротности от 0 до ±30

Диапазон изменения емкости контура 25—450 пФ

Диапазон измерения индуктивности в последовательной схеме замещения $5 \cdot 10^{-8}$—0,4 Г

Диапазон частот 50 кГц —35 МГц

Диапазон частот, МГц	Погрешность измерения добротности катушек	Добротность
0,05—25	$\pm(3\%+A)$ $\pm(6\%+A)$	5—300 300—1000
25—30	$\pm(6\%+A)$	5—1000

Здесь A равно 0,01 от верхнего предела шкалы прибора.

Погрешность измерения индуктивности в последовательной схеме замещения:

$\pm(6\%+2{,}5 \cdot 10^{-9}$Г) для емкости 25—100 пФ,

$\pm(4\%+2{,}5 \cdot 10^{-9}$Г) для емкости 100—450 пФ

Погрешность индикации величины емкости контура 1%+1 пФ

Погрешность отсчета частоты 1%

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 240 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°С, относительная влажность не более 80% при +20°С

Габаритные размеры

490 × 235 × 475 мм

Масса 26 кг

В основу работы прибора (рис. 4.17) положен метод настройки контура в резонанс.

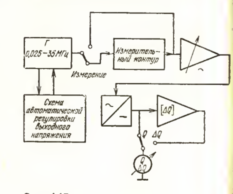


Рис. 4.17.

Конструктивно прибор выполнен в одном корпусе настольного типа. К нему придается комплект катушек индуктивностей, что позволяет измерять сопротивления и емкости во всем рабочем диапазоне частот.

С помощью прибора можно как отсчитывать добротность катушек индуктивности непосредственно по шкалам, так и определять ее методом отстройки от резонанса, изменяя частоту или емкость. Кроме того, с помощью прибора можно определять индуктивность подключенного объекта, его резонансную емкость и резонансную частоту. Косвенным измерением, используя известные расчетные формулы, можно найти емкость и величину потерь конденсаторов, активную составляющую соп-

ротивления и межвитковую емкость катушек индуктивностей. Непосредственный отсчет разности величин добротности (ΔQ) особенно удобен при измерении активных составляющих сопротивлений.

Прибор можно использовать для измерения параметров электромагнитных материалов, диэлектриков в широком диапазоне частот, а также как генератор высокочастотных колебаний.

Измеритель добротности низкочастотный Е4-10

Прибор (рис. 4.18) предназначен для измерения добротности катушек индуктивности, их емкости и резонансной частоты.



Рис. 4.18.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения добротности катушек индуктивности 2—300 на пределах шкал 10—30—100—300

Диапазон измерения индуктивности в последовательной схеме замещения $25\cdot10^{-6}$—10 Г

Погрешность измерения добротности катушек индуктивности:

(±0,06 от значения добротности ±0,01 от верхнего предела шкалы измерителя добротности) для добротности 2—100,

(±0,1 от значения добротности ±0,01 от верхнего предела шкалы) для добротности 100—300

Погрешность измерения индуктивности ±0,04 от значения индуктивности ±1 мкГ

Погрешность индикации емкости контура ±(0,01—0,02) от значения емкости

Погрешность отсчета частоты 0,01 от ее значения

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 50 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

490×258×353 мм

Масса 18 кг

Пределы Q
×1
×10
Г
1–100 кГц
Делитель (уровень 1)
Z_1
L_x
Магазин емкости
Уровень
Измерение
Делитель (пределы Q)
Вольтметр (отсчет Q)
Ручной
Автомат
Пороговое и переключающее устройство

Рис. 4.19.

Диапазон изменения емкости контура 80 пФ — 0,11 мкФ

Диапазон частот 1—100 кГц

В основу работы прибора (рис. 4.19) положен метод настройки контура в резонанс.

Электрическая схема выполнена на полупроводниковых приборах. Прибор позволяет как отсчитывать добротность катушек индуктивности непосредственно по шкалам, так и определять ее методом отстройки от резонанса.

Кроме добротности, с помощью прибора можно измерять индуктивность, межвитковую емкость катушек, их резонансную частоту, а также определять значение составляющих комплексного сопротивления как емкостного, так и индуктивного характера. Малый уровень вводимого при измерении в контур напряжения (2 или 20 мВ) позволяет использовать прибор для измерения индуктивностей с ферромагнитными сердечниками, а возможность ступенчатого изменения уровня позволяет исследовать нелинейность измеряемых объектов. Автоматический выбор пределов измерения облегчает работу с прибором при неизвестном порядке значения добротности.

4.5. Измерители сопротивлений

Мегомметр Е6-4А

Мегомметр предназначен для измерения сопротивления постоянному току в лабораторных и полевых условиях.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения сопротивлений постоянному току 3 Ом — 200 МОм на пределах 300 Ом — 30 кОм — 3 МОм — 200 МОм.

Напряжение на разомкнутых клеммах прибора 1,2—400 В в зависимости от величины измеряемого сопротивления

Относительная погрешность измерения сопротивления 1,5%.

Питание: четыре элемента «Марс»

Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха от —30 до +50° С; относительная влажность до 90% при +30° С

Габаритные размеры

218×130×141 мм

Масса не более 2,6 кг

В основу работы измерителя (рис. 4.20) положен метод омметра. Конструктивно он выполнен в виде прибора переносного типа. Он прост

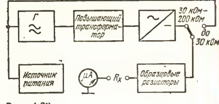


Рис. 4.20.

в эксплуатации, портативен, имеет малую массу и способен работать в полевых условиях.

Прибор целесообразно использовать в тех случаях, когда не требуется высокая точность измерений сопротивлений резисторов и цепей. Он особенно удобен для проверки монтажа электронных устройств при их наладке и ремонте.

Килоомметр с цифровым отсчетом Е6-5

Килоомметр (рис. 4.21) предназначен для измерения сопротивления постоянному току.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения сопротивлений постоянному току 0,001—9999 кОм на двух пределах: 0,001—999,9 кОм (I)

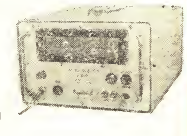


Рис. 4.21

и 1—9999 кОм (II). Предел 1 имеет три выбираемых автоматически поддиапазона (9,999; 99,99 и 999,9 кОм)
Время измерения 3 с

Относительная погрешность измерения сопротивления	Измеряемое сопротивление, кОм
$0{,}003R_x$+1ед. счета	меньше 999,9
$0{,}01R_x$+1ед. счета	больше 999,9

Здесь R_x — измеряемое сопротивление.

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В
Потребляемая мощность 80 ВА
Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность не более 80% при +20° С
Габаритные размеры
220×300×400 мм
Масса 15 кг

Конструктивно измеритель выполнен в виде прибора переносного типа. Измерительная часть его (рис. 4.22) построена по схеме четырехплечего моста постоянного тока. Блок автоматического управления обеспечивает однонаправленное уравновешивание.

Образцовые резисторы и коммутирующие их реле расположены на пяти одинаковых по размерам платах и защищены экраном. Реле-искатель, являющийся основой блока управления, и нуль-орган амортизированы пружинами. Корпус прибора пылевлагонепроницаемый.

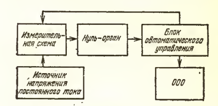


Рис. 4.22.

Работа с прибором весьма проста. Для измерения сопротивления требуется лишь подключить измеряемый объект ко входу прибора, установить в нужное положение переключатель предела измерений и нажать кнопку «Запуск», после чего на табло прибора автоматически выдается четырехзначный результат измерения.

Прибор можно использовать на входном контроле, при подборе и разбраковке резисторов, а также для лабораторных исследований.

Омметр Е6-10

Прибор (рис. 4.23) предназначен для измерения сопротивления постоянному току.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения сопротивлений постоянному току 10 Ом —100 МОм на пределах 0,1—0,3—1—3—10—30—100—300 КОм —1—3—10—30—100—300—1000 МОм
Напряжение на измеряемом сопротивлении 0,15—15 В
Относительная погрешность измерения сопротивления:
2,5% от значения верхнего предела шкалы прибора для $R \leqslant 10$ МОм,

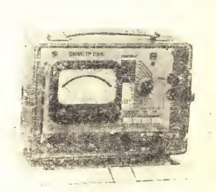


Рис. 4.23.

4% для $R>10$ МОм

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400 Гц $^{+28}_{-12}$ Гц, напряжением 115±5,5В или 220±11 В

Потребляемая мощность 30 ВА

Условия эксплуатации: температура от −30 до +50° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

313×228×150мм

Масса 6,5 кг

Принцип измерения прибором (рис. 4.24) основан на преобразовании измеряемого сопротивления в пропорциональное ему напряжение. Омметр выполнен в виде малогабаритного переносного прибора, в жестком металлическом кожухе, закрываемом со стороны передней панели крышкой.

Прибор прост и удобен в обращении. Шкала измерительного прибора линейная. Встроенное устройство калибровки позволяет корректировать погрешности, вызванные временной нестабильностью элементов прибора, и проверять его нормальное функционирование. Прибор дает возможность осуществлять трехзажимные измерения, что особенно важно при измерении больших сопротивлений.

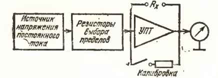


Рис. 4.24.

Омметр можно использовать для измерения сопротивлений резисторов, проверки монтажа, измерения сопротивлений изоляции в лабораторных и полевых условиях.

Тераомметр-пикоамперметр ЕК6-11

Прибор (рис. 4.25) предназначен для измерения сопротивления изоляции конденсаторов с постоянной времени до 10^5 с.

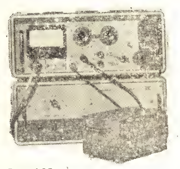


Рис. 4.25.

Основные технические характеристики

Пределы измерения сопротивлений: 30—100—300 МОм —1—3—10—30—100—300 ГОм —1—3 ТОм при испытательных напряжениях 2,5—5—7,5—10 В,

300 МОм —1—3—10—30—100—300 ГОм —1—3—10—30 ТОм при испытательных напряжениях 25—50—75—100 В,

3—10—30—100—300 ГОм —1—3—10—30—100—300 ТОм при испытательных напряжениях 250—500—750—1000 В

Диапазон измерения постоянного тока 1 пА — 300 нА на пределах 3—10—30—100—300 пА —1—3—10—30—100—300 нА

Относительная погрешность измерения сопротивления постоянному току:

6% от верхнего предела шкалы прибора для сопротивлений до 1 ГОм,

10% для сопротивлений более 1 ГОм

Относительная погрешность измерения постоянного тока:

6% от верхнего предела шкалы прибора для токов более 10 нА,

10% для токов до 10 нА

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 40 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Характеристики	Прибор	Внешний источник	Испытательная камера
Габаритные размеры, мм	515×285×225	515×325×225	155×130×290
Масса, кг	14	14 (до 500 В) 19 (до 1000 В)	2,5

Принцип измерения прибора (рис. 4.26) основан на методе преобразования измеряемого сопротивления или тока в пропорциональное им напряжение с помощью операционного усилителя. Измеряемый конденсатор подключается последовательно с источником испытательного напряжения ко входу операционного усилителя. Напряжение на выходе усилителя пропорционально току, протекающему через конденсатор, и обратно пропорционально сопротивлению его утечки. Шкала выходного прибора градуирована в единицах тока и сопротивления. Шкала сопротивлений нелинейная, нуль расположен в правой ее части.

Для ускорения процесса заряда конденсатора перед измерением ключ *K* замыкается и конденсатор быстро заряжается.

Для измерения сопротивлений изоляции конденсаторов с постоянной времени до 100 с используется встроенный источник испытательного напряжения. Для измерения емкостей конденсаторов с постоянной времени больше 100 с необходимо пользоваться специальным высокостабильным батарейным источником испытательных напряжений на 500 или 1000 В, придаваемым к прибору по желанию потребителя.

Принцип работы прибора в качестве пикоамперметра такой же, как и в качестве измерителя сопротивлений.

Усилитель выполнен по схеме преобразования на динамическом конденсаторе с последующим усилением сигнала на переменном токе и синхронным детектированием его на выходе.

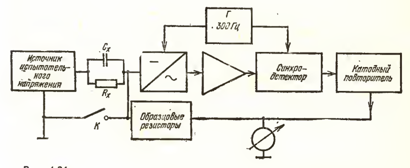


Рис. 4.26.

К прибору придается специальная камера для экранирования измеряемого объекта. Напряжение на измеряемый объект подается только тогда, когда камера закрыта. При открывании камеры выводы измеряемого объекта автоматически закорачиваются и он полностью разряжается.

Кроме измерения сопротивления изоляции и тока утечки конденсаторов, прибор можно использовать и как обычный измеритель высокоомных сопротивлений изоляции различных объектов.

Миллиомметр Е6-12

Прибор предназначен для измерения переходных сопротивлений контактов.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения сопротивлений постоянному току 0,0001 — 10 Ом на пределах 1—3—10—30—100—300—1000—3000—10000 мОм

Напряжение на разомкнутых токовых клеммах не более 50 мВ, частотой 500 Гц ±20%

Относительная погрешность измерения сопротивления 3% от верхнего предела шкалы прибора

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 3 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

313×288×150 мм

Масса 5,5 кг

Принцип измерения прибором (рис. 4.27) основан на методе омметра. Конструктивно миллиомметр оформлен в виде малогабаритного переносного прибора. Он прост и удобен в эксплуатации. Возможность

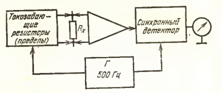


Рис. 4.27.

самокалибровки позволяет устранить погрешности, вызванные временной нестабильностью элементов прибора, и провести проверку правильности его функционирования. Для регистрации долговременных наблюдений за измеряемым сопротивлением в приборе предусмотрен выход на самописец.

Кроме сопротивлений контактов любых переключающих устройств, прибор позволяет измерять сопротивления резисторов и проверять монтаж.

Тераомметр Е6-13

Прибор (рис. 4.28) предназначен для измерения сопротивления постоянному току в диапазоне 10—10^{13} Ом.

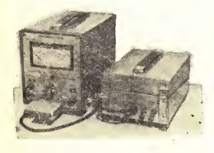


Рис. 4.28.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения сопротивлений постоянному току 10—10^{13} Ом на пределах 10^2—$3\cdot10^2$—10^3—$3\cdot10^3$—10^4—$3\cdot10^4$ —10^5—$3\cdot10^5$ —10^6—$3\cdot10^6$—10^7—$3\cdot10^7$ —10^8—$3\cdot10^8$ —10^9—$3\cdot10^9$—10^{10} — $3\cdot10^{10}$ — 10^{11} — $3\cdot10^{11}$ — 10^{12}—$3\cdot10^{12}$—10^{13} Ом

Пределы измерения сопротивлений, Ом	Относительная погрешность, %
10 —10^8	2,5
10^8 —10^{11}	4
10^{11}—10^{12}	6
10^{12}—10^{13}	15

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35°С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры прибора 155×210×300 мм; измерительной камеры 260×151×125 мм

Масса прибора 5 кг; измерительной камеры 3 кг

Принцип измерения (рис. 4.29) основан на преобразовании измеряемого сопротивления в пропорциональное ему напряжение с помощью операционного усилителя. Измеряемый объект включается в цепь обратной связи (линейная шкала) при измерении резисторов с сопротивлением до 10^{12} Ом или на вход усилителя при измерениях резисторов с сопротивлением 10^{12}—10^{13} Ом (обратная шкала с нулем в правой части).

Тераомметр выполнен в виде переносного малогабаритного прибора. Он прост и удобен в обращении. Его можно использовать для измерения

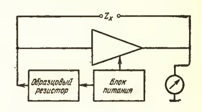


Рис. 4.29.

сопротивления изоляции и сопротивлений высокоомных резисторов. При измерениях сопротивления выше 10^9 Ом испытуемый образец следует помещать в измерительную камеру.

Тераомметр универсальный Е6-14

Прибор (рис. 4.30) предназначен для измерения сопротивлений постоянному току, постоянного тока и напряжения.

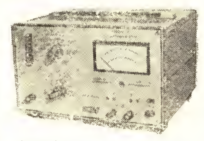


Рис. 4.30.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения сопротивления постоянному току 10^7—10^{17} Ом на пределах 10^8—10^{10}—10^{12} Ом с использованием множителей 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30 и 100

Диапазон измерения тока 10^{-7}—10^{-15} А на пределах 10^{-6}—10^{-10}—10^{-12} А с использованием множителей 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10

Диапазон измерения напряжения 10^{-3}—10 В на пределах 0,01—0,03—0,1—0,3—1—3—10 В

Сопротивление, Ом	Относительная погрешность, % от верхнего предела шкалы
10^7—10^{12}	4
10^{12}—10^{14}	6
10^{14}—10^{16}	10

Ток, А	Относительная погрешность, % от верхнего предела шкалы
10^{-7}—10^{-12}	4
10^{-12}—10^{-14}	6

Относительная погрешность измерения напряжения 2,5%

Входное сопротивление при измерении напряжений 10^{15} Ом

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением

220±22 В и два химических источника напряжением 1,2—1,4 В типа «Марс»

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +30°С, относительная влажность до 80% при +20°С

Габаритные размеры прибора 390×210×295; измерительной камеры 380×240×340 мм

Масса прибора с измерительной камерой не более 14 кг.

Структурная схема прибора приведена на рис. 4.31, а схема соединений блоков прибора при измерении сопротивлений, тока и напряжения — соответственно на рис. 4.32—4.34.

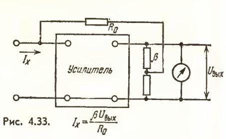


Рис. 4.33. $I_x = \frac{\beta U_{вых}}{R_0}$

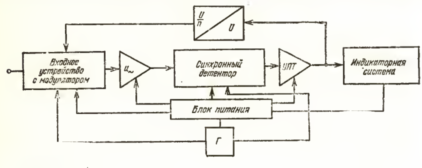
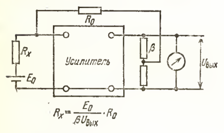


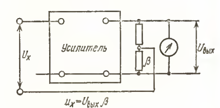
Рис. 4.31.



$R_x = \frac{E_0}{\beta U_{вых}} \cdot R_0$

Рис. 4.32.

В основу работы прибора в режиме измерения токов и сопротивлений положен принцип преобразования измеряемых величин в пропорциональное им напряжение с помощью операционного усилителя. Обратная связь усилителя формируется делителем β и резистором обратной связи R_0 (рис. 4.32—4.34). Сменой резистора обратной связи осуществляется переключение пределов измерения, а коммутацией коэффициента деления делителя производится переключение множителя.



$u_x = U_{вых}\beta$

Рис. 4.34.

Для измерения напряжений используется тот же усилитель, но с последовательной обратной связью по напряжению, что обеспечивает высокое входное сопротивление вольтметра. Источник измеряемого напряжения может быть как заземленным, так и незаземленным. Прибор позво-

ляет измерять сопротивления заземленных и незаземленных объектов, с экраном и без него.

Конструктивно измеритель выполнен в виде переносного прибора. Его можно использовать для измерения сопротивлений резисторов, сопротивлений изоляции, токов, а также поверхностных и объемных сопротивлений различных материалов.

Миллиомметр Е6-15

Прибор (рис. 4.35) предназначен для измерения переходных сопротивлений контактов.

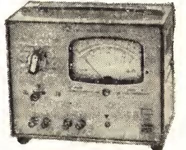


Рис. 4.35.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения сопротивления 0,0001—100 Ом на пределах 0,001—0,003 — 0,01 — 0,03—0,1—0,3—1—3—10—30—100 Ом

Напряжение на разомкнутых клеммах прибора 45 мВ ± 10%, частотой 78 Гц

Выходное напряжение для самописца 30 мВ ± 20% при показаниях, соответствующих полной шкале прибора.

Относительная погрешность измерения сопротивления 1,5% от верхнего предела шкалы прибора

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 3 ВА

Условия эксплуатации: температура от —10 до +40° С, относительная влажность до 80% при 20°С

Габаритные размеры

229×208×180 мм

Масса 4,2 кг

Измерительная часть прибора (рис. 4.36) выполнена по четырехзажимной схеме омметра. Конструктивно миллиомметр выполнен в виде переносного малогабаритного прибора. Он прост и удобен в работе. Возможность самокалибровки позволяет устранить погрешности, обусловленные временной нестабильностью элементов прибора, и осуществить проверку правильности функционирования. Для регистрации результатов долговременных измерений в приборе предусмотрен выход на самописец.

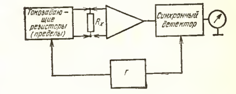


Рис. 4.36.

Прибор позволяет измерять переходные сопротивления контактов любых переключающих устройств, а также может быть использован для измерения сопротивления резисторов и проверки монтажа. По своим характеристикам он полностью заменяет миллиомметр Е6-12.

4.6. Измерители параметров универсальные

Мост универсальный Е7-4

Прибор (рис. 4.37) предназначен для измерения сопротивления, емкости, индуктивности, добротности и тангенса угла потерь электрорадиокомпонентов и устройств.

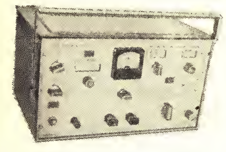


Рис. 4.37.

Основные технические характеристики

Рабочая частота 100, 1000 Гц

Диапазон измерения сопротивления постоянному току 0,1 Ом — 10 кОм на пределах 10—100—1000—10000 Ом

Диапазон измерения сопротивления переменному току на частоте 100 Гц 0,1 Ом — 10 МОм на пределах 10—100 Ом—1—10—100 кОм—1—10 МОм

Диапазон измерения тангенса угла потерь конденсаторов 0,005—0,1 на частотах 100 и 1000 Гц

Диапазон измерения тангенса угла потерь катушек индуктивности 0,01—0,033 на частоте 1000 Гц

Диапазон измерения добротности катушек индуктивности 1—30 на частотах 100 и 1000 Гц

Погрешность измерения сопротивления $\pm(0{,}01—0{,}02)$ от измеряемой величины сопротивления $\pm 0{,}1$ Ом

Погрешность измерения емкости в последовательной схеме замещения $\pm(0{,}01—0{,}02)$ от измеряемого значения емкости $\pm 0{,}3$ пФ

Погрешность измерения индуктивности $\pm(0{,}01—0{,}02)$ от измеряемого значения индуктивности ± 1 мкГ

Погрешность измерения тангенса угла потерь $\pm$(0,1 от значения тангенса угла потерь $+5\cdot10^{-3}$)

Погрешность измерения добротности $\pm$(0,5 от значения добротности +10) %

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 25 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35°С, относительная влажность до 80% при +20°С

Частота, Гц	Измерения в последовательной схеме замещения			
	емкости, мкФ		индуктивности, мГ	
	Диапазон	Пределы	Диапазон	Пределы
100	10—100	100	$(1—100)\cdot10^3$	$(10—100)\cdot10^3$
1000	$10\cdot10^{-6}—10$	$10^{-4}—10^{-3}—10^{-2}—10^{-1}—1—10$	$10^{-2}—10^3$	$10^{-1}—1—10—10^2—10^3$

Диапазон измерения индуктивности в параллельной схеме замещения 10 мкГ — 1 Г на пределах 10—100 мкГ — 1—10—100 мГ — 1 Г на частоте 1000 Гц при добротностях более 30

Габаритные размеры 382×260×282 мм

Масса 11 кг

В качестве измерительной схемы в приборе использована схема четы-

рехплечего моста (рис. 4.38). Включая элементы плеч моста соответствующим образом, можно приспособить устройство для измерения соваиии внешнего генератора, для подключения которого имеются специальные клеммы на задней панели прибора.



Рис. 4.38

ответствующих величин. Мост универсальный является прибором настольного типа.

Конструкция прибора каркасно-бесфутлярная. Кроме измерений на постоянном токе и на частотах 100 и 1000 Гц, прибор может выполнять измерения на любой из частот в диапазоне 100 Гц — 3 кГц при использовании внешнего генератора.

Регулируя выходное напряжение генератора, питающего измеритель, можно исследовать нелинейные свойства измеряемых объектов. Возможность измерения на двух частотах позволяет изучать частотные свойства измеряемых электрорадиокомпонентов.

Измеритель индуктивностей и емкостей высокочастотный Е7-5А

Прибор (рис. 4.39) предназначен для измерения малых величин индуктивностей и емкостей конденсаторов с малыми потерями.

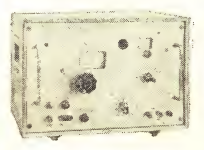


Рис. 4.39.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения индуктивности в последовательной схеме замещения 0,05—10^5 мкГ на пределах 10—10^2—10^3—10^4—10^5 мкГ на частотах 1,55 МГц — 11 кГц

Диапазон измерения емкости в параллельной схеме замещения 1—5000 пФ на пределах 1000—2000—3000—4000—5000 пФ на частотах 300—700 кГц

Относительная погрешность измерения индуктивности в последовательной схеме замещения, %	Пределы измерения индуктивности, мкГ
$\pm(1{,}5L_x+0{,}4L)$	1—10
$\pm(1{,}2L_x+0{,}12L)$	больше 10

Здесь L — верхний предел шкалы прибора для индуктивности.

Дополнительная погрешность при измерении индуктивности в последовательной схеме замещения, обусловленная влиянием собственной емкости и добротности измеряемых катушек, а также систематическая погрешность прибора исключаются с помощью графиков.

Погрешность измерения емкости в параллельной схеме замещения, пФ	Пределы измерения емкости, пФ
$\pm(0{,}05C_x+0{,}1)$	1—2,5
$\pm(0{,}05C_x+0{,}05)$	2,5—10
$\pm(0{,}05C_x+0{,}4)$	свыше 10

Здесь C_x — измеряемая емкость.

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 20 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35°С, относительная влажность до 80% при +20°С

Габаритные размеры

390×290×290 мм

Масса 15 кг

Для измерения в приборе (рис. 4.40) использован метод двух генераторов. Конструктивно измеритель выполнен в виде малогабаритного переносного настольного прибора. Его можно использовать для измерения индуктивности катушек и трансформаторов, емкостей конденсаторов и различных устройств.

Прибор очень удобен для определения изменений исследуемых объектов под действием различных факторов, в частности для измерения температурных коэффициентов емкости или индуктивности.

Рис. 4.40.

Для повышения точности настройки в резонанс при измерении малых изменений исследуемых величин в качестве индикатора резонанса рекомендуется использовать электронный частотомер Ч3-36, подключая его к гнезду «Телефон».



Измеритель C,L,R цифровой Е7-8

Прибор (рис. 4.41) предназначен для автоматического измерения параметров конденсаторов, катушек индуктивностей и сопротивлений.

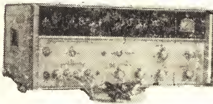


Рис. 4.41.

Основные технические характеристики

Рабочая частота 1000 Гц±1%

Диапазон измерения емкости в параллельной схеме замещения ±(0,01 пФ — 100 мкФ) на пределах 100—1000 пФ — 10—100—1000 нФ — 10—100 мкФ

Диапазон измерения индуктивности в последовательной схеме замещения ±(01 мкГ — 1000 Г) на пределах 1000 мкГ — 10—100—1000 мГ — 10—100—1000 Г

Диапазон измерения сопротивления в последовательной схеме замещения 1 мОм—10 МОм на пределах 10—100 Ом — 1 — 10 — 100 кОМ — 1 — 10 МОм

Диапазон измерения проводимости в параллельной схеме замещения 0,1 нСм — 1 См на пределах 1000 нСм — 10—100—1000 мкСм — 10—100—1000 мСм.

Диапазон измерения тангенса угла потерь $1 \cdot 10^{-4}$—1

Погрешность измерения емкости в параллельной схеме замещения ±(0,001—0,0015) от измеряемой емкости ±0,01 пФ ± 1 ед. счета

Погрешность измерения индуктивности в последовательной схеме замещения ±0,001 от измеряемой индуктивности ±0,1 мкГ ± 1 ед. счета

Погрешности измерения сопротивления в последовательной схеме замещения (проводимости в параллельной схеме замещения) ±0,001 от измеряемого сопротивления (проводимости) ± 1 ед. счета

Погрешиость измерения тангенса угла потерь ±0,005 значения тангенса $\pm(5\cdot10^{-4}—1\cdot10^{-3})$

Время измерения до 1 с

Питание от сети перемеиного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 85 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, отиосительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры
480×215×475 мм

Масса 30 кг

Измерительная часть прибора (рис. 4.42) представляет собой уравновешивающую цепь, использующую следоваиия импульсов зависит от амплнтуды напряжения фазовых детекторов и меняется в пределах 30 Гц—500 кГц, возрастая с увеличением напряжеиия. Следовательно, по мере приближения к балансу скорость уравновешивания уменьшается.

Уравновешивание прекращается при уменьшении напряжения разбаланса измерительного устройства до значения, соответствующего отклонению регулирующего органа от состояния равновесия на 0,5 единицы младшего разряда.

Конструктивно измеритель выполнен в виде переносного прибора настольного типа в бесфутлярном офор-

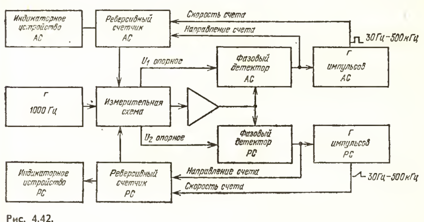


Рис. 4.42.

операционные усилители и трансформаторные плечи. Уравновешивание осуществляется изменением числа витков трансформаторных плеч транзисторными ключами. Автоматический поиск состояния равновесия реализуется по принципу следящего уравновешивания при одновременном регулировании обоих органов балансироваиия схемы.

Органы регулироваиия по активной (АС) и реактивной (РС) составляющим управляются двумя реверсивными счетчиками, направление счета которых определяется знаком напряжения фазочувствительных детекторов, а скорость счета — частотой следования тактовых импульсов. Частота

млении. Он обладает широкими пределами измереиия, допуская различные варианты измерений. Напряженне и ток на измеряемом объекте (при частоте 1 000 Гц) обычно не превышают 4,3 В и 4,3 А. Напряжение и ток подмагничивания соответствеино 0,5—20 В; 0,5—20 мА. Измерительный объект подключается к прибору гибким кабелем длиной 70 см, не вносящим дополиительных погрешностей при измерениях и расширяющим возможности использования прибора.

Параметры высокоомных объектов измеряются по трехзажимной схеме включения; параметры низкоомных объектов в тех случаях, когда требуется исключить влияние подсоеди-

инительных проводов и переходных контактов, измеряются по четырех- и пятизажимной схеме включения. При измерении конденсаторов и катушек индуктивности с большими потерями и сопротивлений с большой реактивностью имеет место дополнительная погрешность измерения, не превышающая (0,05—0,1) %.

Измерение прибором как положительных, так и отрицательных реактивностей значительно расширяет его метрологические свойства, позволяя использовать его для измерений в различных схемах замещения.

В приборе предусмотрена возможность подачи на измеряемый объект поляризующего напряжения или тока подмагничивания, что позволяет измерять параметры объектов в реальных энергетических режимах.

Предусмотрен вывод информации о результатах измерения в коде 8-4-2-1.

Режимы измерения: следящий и одиночный запуск (ручной и дистанционный).

Прибор можно использовать для измерения проходных импедансов, коэффициентов передачи устройств, степени экранирования объектов, а также для исследования свойств электромагнитных материалов.

В комплекте с компаратором кодов типа «202» прибор можно применять на входном и производственном контроле, обеспечивая быструю и точную разбраковку радиоэлементов по установленным допускам.

Применяя емкостные, индуктивные или тензодатчики, прибором можно измерять неэлектрические величины (температуру, давление, перемещение) при исследовании различных физических процессов.

4.7. Измерители емкости

Мост емкостей Е8-2

Прибор (рис. 4.43) предназначен для измерения емкости и активной проводимости различных объектов на частоте 1000 Гц.

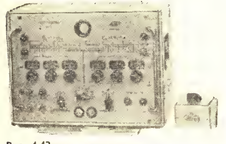


Рис. 4.43.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения емкости в параллельной схеме замещения 0,001 пФ — 11,1 мкФ на пределах шкал 10—100 пФ — 1—10—100 нФ — 1—10 мкФ

Диапазон измерения индуктивности в последовательной схеме замещения 0,1 мкГ — 10 мГ на пределах 100 мкГ—1—10—мГ

Диапазон измерения сопротивления в последовательной схеме замещения 0,01—100 Ом.

Диапазон измерения проводимости в параллельной схеме замещения 0,01 мкСм — 111 мСм на пределах 1000 нСм — 10—100—1000 мкСм — 10—100 мСм

Пределы измерения емкости в параллельной схеме замещения, пФ	Относительная погрешность измерения, %
1—10	±0,5
10—10^6	±0,2
0,001—1, выше 10^6	не нормируется

Относительная погрешность измерения проводимости в параллельной схеме замещения $\pm(0{,}2+20\ G_x)$ %, где G_x — измеряемая проводимость в См, для пределов 10—10^5 мкСм; на остальных пределах не нормируется

Относительная погрешность измерения индуктивности в последовательной схеме замещения: ±2% для пределов 10 мкГ — 1 мГ; не нормируется на остальных пределах

Относительная погрешность измерения сопротивления в последовательной схеме замещения ±(0,02 от значения сопротивления +0,15) Ом для пределов 0,01—10 Ом, не нормируется для остальных пределов

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 50 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры прибора 450×340×285 мм, преобразователя 165×105×105 мм

Масса прибора 25 кг, преобразователя 1,2 кг

Измерительная часть прибора (рис. 4.44) выполнена по схеме трансформаторного моста. Для измерения

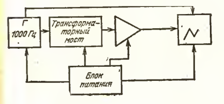


Рис. 4.44.

малых величин индуктивности и сопротивления в последовательной схеме замещения к прибору придается преобразователь, через который измеряемый объект подсоединяется к прибору.

Мост емкостей выполнен в виде переносного прибора. Все органы управления прибором вынесены на переднюю панель.

Преобразователь конструктивно выполнен в отдельном блоке. В верхней части его размещается переключатель пределов измерения. Уравновешивание мостовой схемы осуществляется декадными переключателями по осциллографическому индикатору баланса, определяющему, по какой из составляющих следует проводить регулировку. При достижении баланса результат измерения выдается в четырехразрядной цифровой форме по каждой из составляющих.

Измеряемый объект подключается к прибору с помощью двух соединительных кабелей, позволяющих производить измерения на расстоянии до 0,5 м.

При использовании преобразователя измеряемый объект подключается к клеммам преобразователя, а сам преобразователь соединяется с прибором гибкими кабелями.

Мост Е8-2 имеет широкие возможности измерений. С его помощью можно измерять емкость и потери конденсаторов, степень экранировки устройств, коэффициенты передачи активных и пассивных четырехполюсников, (трансформаторы, аттенюаторы, усилители), сопротивление и реактивность резисторов, переходные сопротивления и реактивности переключающих устройств, а также исследовать свойства магнитных материалов. Эти возможности обусловлены свойствами измерительной схемы, обеспечивающими измерение по двух- и трехзажимной схемам включения, а при использовании преобразователя — по четырехзажимной схеме.

Прибор, кроме того, позволяет измерять отрицательные емкость и активную проводимость и тем самым исследовать цепи со сложной конфигурацией, например трехполюсник и цепи с активными параметрами.

В приборе предусмотрена возможность работы от внешнего генератора при использовании внешнего индикатора в диапазоне частот 50 Гц — 20 кГц. Подключение внешнего генератора и индикатора производится с помощью кабелей к соответствующим гнездам с надписью ВНЕШН. ГЕНЕРАТОР и ВНЕШН. ИНДИКАТОР, находящимся на задней стенке прибора.

Измеритель емкостей цифровой Е8-3

Прибор (рис. 4.45) предназначен для автоматического измерения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов.

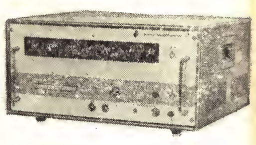


Рис. 4.45.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения емкости в параллельной схеме замещения 0,03 пФ — 10 мкФ на пределах 100 пФ — 1 — 10 — 100 нФ — 1 — 10 мкФ

Диапазон измерения тангенса угла потерь $(5—999)\cdot10^{-4}$

Рабочая частота 1000 Гц±2%

Погрешность измерения емкости в параллельной схеме замещения ±0,002 значения измеряемой емкости ±0,02 пФ ± 1 ед. счета.

Пределы измерения емкости, пФ	Погрешность измерения тангенса угла потерь
$100—10^6$	$\pm(0{,}02\mathrm{tg}\delta_x + 5\cdot10^{-4})$
10—100 и выше 10^6	$\pm(0{,}02\mathrm{tg}\delta_x + 10^{-3})$

Здесь $\mathrm{tg}\delta_x$ — тангенс угла потерь.

Время измерения 0,5—1,5 с в зависимости от значения тангенса угла потерь

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 145 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35°С, относительная влажность до 80% при +20°С

Габаритные размеры

500×227×420 мм

Масса 27 кг

В приборе (рис. 4.46) осуществляется однонаправленное уравновешивание мостовой схемы путем поочередного управления органами регулирования. Измерительная схема прибора представляет четырехплечий мост, регулирующие органы которого выполнены в виде многоразрядных сопротивлений с весовыми соотношениями элементов внутри разряда 4-2-2-1, переключаемыми реле. При запуске прибора регистр сдвига под действием тактовых импульсов последовательно изменяет состояние триггеров памяти, которые включают реле, коммутирующие сопротивления регулирующих органов от старшего разряда к младшему и от большего веса к меньшему. Если состояние баланса не пройдено, то нуль-орган вырабатывает сигнал, сохраняющий состояние триггера регистра памяти, и соответствующий весовой резистор остается включенным. Если включенный регистр приводит к переходу через состояние равновесия, то триггер

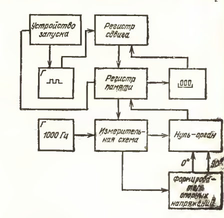


Рис. 4.46.

регистра памяти возвращается в исходное состояние сигналом нуль-органа и включенный резистор сбрасывается.

Сигналы нуль-органа формируются с помощью фазочувствительного детектора.

Первоначально мост уравновешивается органом регулирования по емкости, а затем — по тангенсу угла потерь. После отработки программы по младшему разряду органа регулирования тангенса угла потерь информация о результате измерения, заключенная в состояниях триггеров регистра памяти, преобразуется в цифровую форму в цифровом отсчетном устройстве.

Запуск прибора: периодический (внутренний), ручной и дистанционный (типа сухой контакт).

Устройство запуска осуществляет периодическое включение прибора и остановку работы системы автоматики после окончания цикла измерения. Напряжение на измеряемом объекте 3,5 В.

Отсчет емкости в параллельной схеме замещения четырехзначный, тангенса угла потерь — трехзначный.

В приборе предусмотрен вывод информации о результатах измерения в коде 4-2-2-1. Выбор пределов измерения — ручной.

Цифровой измеритель Е8-3 выполнен в виде настольного прибора.

Измеряемый объект подключается к нему соединительными кабелями. Если предполагается производить разбраковку большого числа конденсаторов, для ускорения процесса рекомендуется использовать присоединительное устройство. При этом прибор переводится в режим внешнего запуска и измерения начинаются от нажатия клавиши присоединительного устройства.

К прибору могут прилагаться допусковые контроллеры типа КЗ-1 для разбраковки конденсаторов по величине емкости. Верхняя и нижняя границы допуска устанавливаются на контроллере. Разбраковку можно производить одновременно по нескольким допускам.

Применяя емкостные датчики, прибор можно использовать для контроля температуры, давления, механических воздействий и др.

Измеритель емкости цифровой Е8-4

Прибор (рис. 4.47) предназначен для автоматического измерения емкости и тангенса угла потерь электрических конденсаторов.

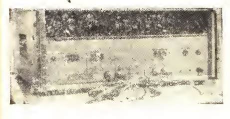


Рис. 4.47.

Основные технические характеристики

Диапазоны измерения емкости в параллельной схеме замещения:

0,03 пФ — 15,99 мкФ с соединительными кабелями длиной 1 м на пределах 159,99—1599,9—15999 пФ — 0,1599—1,5999—15,999 мкФ,

0,03 пФ — 10 мкФ с соединительными кабелями длиной 50 м,

1 пФ — 1 мкФ с присоединительным устройством

Диапазоны измерения тангенса угла потерь:

$(5—999)\cdot 10^{-4}$ с соединительными кабелями длиной 1 и 50 м,

$(7—999)\cdot 10^{-4}$ с присоединительным устройством

Рабочая частота 1000 Гц±1%

Напряжение на измеряемом объекте 0,18—18 В

Время измерения 1 с

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 90 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°С, относительная влажность до 80% при +20° С

Пределы измерения, мкФ	Погрешность измерения	Примечание
$0{,}03\cdot10^{-6}$—15,99	$\pm(0{,}001\ C_x+0{,}02$ пФ+ +1 ед. счета)	С соединительными кабелями длиной 1 м
$0{,}03\cdot10^{-6}$—1,5 1,5—10	$\pm(0{,}001\ C_x+0{,}02$ пФ+ +1 ед. счета) $\pm(0{,}002\ C_x+1$ ед. счета)	С соединительными кабелями длиной 50 м
10^{-6}—1	$\pm(0{,}001\ C_x+1$ пФ +1 ед. счета)	С присоединительным устройством

Здесь C_x — измеряемая емкость.

Пределы измерения емкости, мкФ	Погрешность измерения тангенса угла потерь	Примечание
$10\cdot10^{-6}$—15,99	$\pm(0{,}02\mathrm{tg}\delta_x+5\cdot10^{-4})$	С соединительными кабелями длиной 1 м
$10\cdot10^{-6}$—1,5 1,5—10	$\pm(0{,}02\mathrm{tg}\delta_x+5\cdot10^{-4})$ $\pm(0{,}02\mathrm{tg}\delta_x+15\cdot10^{-4})$	С соединительными кабелями длиной 50 м
$10\cdot10^{-6}$—1	$\pm(0{,}02\mathrm{tg}\delta_x+7\cdot10^{-4})$	С присоединительным устройством

Здесь $\mathrm{tg}\delta_x$ — измеряемая величина тангенса угла потерь.

Габаритные размеры
490×215×475 мм
Масса 25 кг

Измерительная часть прибора (рис. 4.48) выполнена по схеме трансформаторного моста, уравновешивание которого по обеим составляющим осуществляется переключением числа витков трансформаторных плеч полупроводниковыми ключами. Для исключения погрешности измерения больших емкостей, обусловленной последовательными импедансами соединительных кабелей, применена система активной компенсации паразитных параметров соединительных кабелей, обеспечивающая двух-, трех-, четырех- и пятизажимное включение измеряемого объекта.

В приборе осуществлено однонаправленное поразрядное уравновешивание мостовой схемы.

Соответствующая секция трансформаторных плеч включается триггерами регистров памяти емкости или тангенса угла потерь или же выбора пределов измерения. Тактовые импульсы, поступающие на соответствующие регистры через распределитель, управляемый сигналом фазочувствительного нуль-органа, изменяют состояние триггеров. Нуль-орган определяет, каким из органов регулирования необходимо уравновешивать устройство в данный момент, и подтверждает необходимость сохранения или сброса включенной секции. Включение секций трансформаторных плеч происходит от старшего разряда к младшему и от большего весового значения к меньшему. Уравновешивание схемы заканчивается после отработки в младшем разряде органа уравновешивания по тангенсу угла потерь. Информация о результатах измерения, заключенная в состояниях триггеров регистров памяти емкости или тангенса угла потерь, преобразуется в цифровую форму в соответствующих цифровых отсчетных устройствах.

В приборе предусмотрен вывод информации о результатах измерения в коде 8-4-2-1.

Запуск прибора: периодический, ручиой, дистаиционный (типа «сухой коитакт»).

Выбор пределов измереиия — автоматический.

Измеритель представляет собой иастольный переносный прибор в бесфутляриом оформлении. Цифровое табло имеет пять знаков отсчета по емкости и три знака отсчета по таигенсу угла потерь.

динение коиденсаторов с осевыми выводами.

Прибором можио измерять проходиые емкости, степень экранировки обмоток трансформаторов, межэлектродные емкости электрониых ламп, коэффициент трансформации трансформаторов и коэффициент передачи электронных устройств, а также температуриый коэффициеит емкости (ТКЕ) коиденсаторов, используя

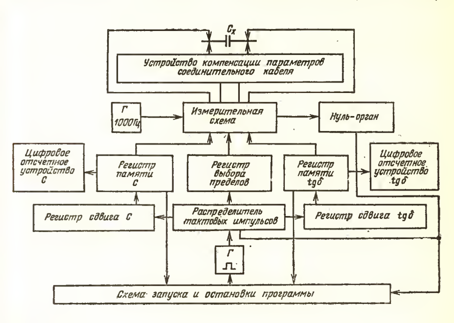


Рис. 4.48.

Прибор позволяет измерять характеристики двух- и трехэлектродных конденсаторов. При использовании компаратора кодов тнпа «202» его можио использовать для быстрого н точиого допускового контроля конденсаторов в процессе их производства, при входном контроле, а также при контроле сохранности характеристик конденсаторов на автоматах формовки и пайки выводов. При осуществлении входного контроля целесообразно применять присоединительиое устройство, прилагаемое к прибору, обеспечнвающее быстрое присоединение

программиый дистаиционный запуск.

Автокомпенсация включенных последовательно с измеряемым объектом сопротивлений позволяет измерять характеристики конденсаторов на конце соедиинтельного кабеля длииой до 50 м. Это особенно необходимо, если требуется определить свойства конденсаторов при воздействии на них температур, давлений, ионизирующих излучеиий и других дестабилизнрующих факторов, не допускающих присутствия оператора вблизи объекта измерения.

Измеритель емкости цифровой дистанционный Е8-5

Прибор (рис. 4.49) предназначен для автоматических многоканальных измерений емкости и тангенса угла потерь электрических конденсаторов.



Рис. 4.4?.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения емкости 10 пФ — 10 мкФ на пределах 159,99—1599,9—15999 пФ—0,1599—1,5999—15,999 мкФ

Диапазон измерения тангенса угла потерь $(5-999)\cdot 10^{-4}$

Рабочая частота 1000 Гц±1%

Время измерения 1 с при одиночном измерении без регистрации и 80 с при измерении 20 объектов и регистрации их на ЭУМ-23.

Прибор (рис. 4.50) обеспечивает последовательные измерения, а также регистрацию результатов измерения цифропечатающей машинкой

Линия управления
Коммутатор каналов Я9-25
Измеритель емкости цифровой Е8-4
Измерительная линия I (43 м)
Блок реле
Измерительная линия II на 20 каналов (7 м)
Электро-управляемая машина ЭУМ-23
К измеряемым объектам

Рис. 4.50.

ЭУМ-23 параметров от 1 до 20 конденсаторов на конце измерительной линии длиной до 50 м.

Режим коммутации каналов: ручной, циклический, периодический.

В состав измерителя емкости цифрового дистанционного Е8-5 входит измеритель Е8-4, коммутатор каналов Я9-25 (выполняющий дополнительно функцию преобразователя кодов), блок реле, являющийся исполнительным устройством коммутатора

Пределы измерения емкости, мкФ	Погрешности измерения	
	емкости в параллельной схеме замещения	тангенса угла потерь
10^{-6}—1,5	$\pm(0{,}001\ C_x+0{,}5$ пФ+1 ед. счета)	$\pm(0{,}02\mathrm{tg}\delta_x+5\cdot 10^{-4})$
1,5—10	$\pm(0{,}002\ C_x+1$ ед. счета)	$\pm(0{,}02\mathrm{tg}\delta_x+15\cdot 10^{-4})$

Здесь C_x — измеряемая емкость, $\mathrm{tg}\delta_x$ — тангенс угла потерь

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 140 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°С, относительная влажность до 80% при +20°С

Габаритные размеры:

Е8-4 490×215×475 мм

Я9-25 490×135×475 мм

блока реле 300×135×475 мм

Масса 45 кг

каналов, линии управления и связи с измеряемыми объектами.

Измеритель Е8-5 позволяет производить весь комплекс измерений, осуществляемых прибором Е8-4. Он обеспечивает автоматические многоканальные дистанционные измерения параметров конденсаторов в опасных или недоступных для оператора условиях, при испытании конденсаторов на долговечность и при климатических испытаниях.

Таблица 4.1

Измерители L,C,R

Характеристики	Тип прибора				
	P571	P589	P591	P5004	P5010
1. Метод измерения	Четырехплечий мост	Трансформаторный мост	Трансформаторный мост	Трансформаторный мост	Четырехплечий мост
2. Степень автоматизации	Ручной	Автоматический цифровой	Автоматический цифровой	Ручной	Автоматический цифровой
3. Рабочая частота, Гц	От 40 до 5000 в зависимости от измеряемого объекта	1000	1000 и 10000	1000	1000
4. Пределы измерения:					
емкости	10 пФ—1000 мкФ	0,02 пФ —10 мкФ		0,001 пФ—100 мкФ	0,1 пФ—100 мкФ
индуктивности	1 мкГ—1000 Г	—	1 мкГ—10 Г	—	1 мкГ—10Г
тангенса угла потерь	$1\cdot10^{-3}$—2 для $C\leq10$ мкФ	$3\cdot10^{-4}$—0,1	$1\cdot10^{-3}$—0,9	$1\cdot10^{-5}$—0,5	0—0,5 для $C>10$ пФ
добротности катушек	0,5—200 для $L\leq1$ Г.	—	—	—	—
сопротивления	—	—	—	—	0,1 Ом—1 МОм
5. Погрешности измерения, %:					
емкости	±(0,1—0,5)	±(0,1—0,2)		±(0,05—0,2)	±0,5
индуктивности	±(0,1—0,5)	—	±0,2	—	±0,5
добротности	±(5+0,25 Q)	—	—	—	—
тангенса угла потерь	$\pm(25\cdot10^{-4}+0{,}05\,\mathrm{tg}\delta)$	$\pm(3\cdot10^{-4}$—$0{,}02\,\mathrm{tg}\delta)$	±2	$\pm(2\cdot10^{-4}+$ $+0{,}01\,\mathrm{tg}\delta)$	±2
сопротивления					±0,5
6. Время измерения, с		0,03—2	0,03—2		0,2
7. Габариты, мм	390×520×880	535×440×200	535×500×200	535×390×200	
8. Масса, кГ	75	30	28	18	
9. Условия эксплуатации:					
температура °С	10—35	10—35	10—35	10—35	10—35
относительная влажность, %, при +20°С	30—80	до 80	до 80	до 80	до 80

Для измерения величии индуктивности, емкости и сопротивления, кроме перечисленных выше приборов, можно использовать приборы, характеристики которых приведены в табл. 4.1

Список литературы

1. **Кнеллер В. Ю.** Автоматическое измерение составляющих комплексного сопротивления. «Энергия», 1967.
2. **Атабеков Г. И.** Теоретические основы электротехники. М., «Энергия», 1970.
3. **Эпштейн С. Л.** Измерение характеристик конденсаторов. М., «Энергия», 1965.
4. **Терлин Ф., Петтин Дж.** Измерительная техника в электронике. Пер. с англ. Под ред. В. Г. Фролкина. М., ИЛ, 1955.



Глава 5

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И ТРАКТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПОСТОЯННЫМИ. ФАЗОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

5.1. Общие сведения

В диапазоне высоких и сверхвысоких частот отдельные элементы радиотехнических цепей коаксиального и волноводного трактов обычно рассматриваются как четырехполюсники с распределенными постоянными. Характеристики этих элементов, в том числе и таких элементов СВЧ, как транзисторы, диоды, определяются через коэффициенты передачи и отражения (S-параметры). Эти параметры носят комплексный характер, что обуславливает, в свою очередь, необходимость измерения фазовых соотношений сигналов, проходящих через подобные элементы и устройства.

Приборы для измерения этих параметров в соответствии с их назначением и используемыми методами измерений разбиваются на следующие группы:

— измерительные линии;

— измерители полных сопротивлений;

— измерители коэффициента стоячей волны;

— измерители комплексных коэффициентов передачи;

— измерители разности фаз;

— приборы для исследования амплитудно-частотных характеристик;

— установки для поверки аттенюаторов и приборы для измерения ослабления;

— измерители группового времени запаздывания,

— измерители параметров линий передач.

Приборы работают в диапазоне частот 20 Гц — 78,33 ГГц. Измеряемый объект может включаться между низкоомным выходом источника сигнала и высокоомным входом измерительного прибора и в согласованный тракт. В первом случае измерения обычно осуществляются в диапазоне до 1000 МГц, а во втором — в диапазоне частот 20 МГц — 16,67 ГГц. Использование измерительных линий обеспечивает измерения в диапазоне частот до 78,33 ГГц.

Измерители для коаксиальных трактов выполняются с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом. Коаксиалы, используемые в приборах, имеют сечения 7/3 и 16/7 мм для 50 Ом и 16/4,6 мм для 75 Ом. В приборах старых моделей для волнового сопротивления 50 Ом иногда используется коаксиал сечением 10/4,3 мм. Большинство измерительных приборов выполняется для трактов с волновым сопротивлением 50 Ом, с сечением коаксиала 7/3 мм.

Стандартные сечения волноводов и соответствующие им диапазоны частот приведены в табл. 5.1.

Используемый метод измерения параметров элементов цепей и трактов в существенной мере зависит от диапазона частот и особенностей измеряемых объектов. Если на низких частотах объектами измерений яв-

Таблица 5.1

Сечение волновода, мм	Диапазон частот, ГГц
110×55	1,72—2,59
90×45	2,14—3,2
72×34	2,6—4,0
58×25	3,2—4,8
48×24	3,86—5,96
40×20	4,8—6,85
35×15	5,55—8,33
285×12,6	6,85—10,02
23×10	8,15—12,42
17×8	11,55—16,66
16×8	12,05—17,44
11×5,5	16,67—25,86
7,2×3,4	25,86—37,5
5,2×2,6	37,5—53,6
3,6×1,8	53,6—78,33

ляются сосредоточенные элементы цепей — индуктивности, емкости, сопротивления, то на частотах СВЧ диапазона эти параметры можно определить только как погонные, поэтому здесь используются принципиально другие подходы к решению измерительных задач.

Параметры элементов линий передачи

Как отмечалось, в диапазоне СВЧ основным исследуемым объектом является линия передачи или ее элементы. Длина линии, характер ее неоднородностей (паразитных или формирующих характеристику объекта) меняются в зависимости от назначения. Любое устройство можно представить как многополюсник, описываемый конечной системой параметров. Наиболее распространенными являются параметры рассеяния (S-параметры) — комплексные коэффициенты передачи и комплексные коэффициенты отражения, которые измеряются традиционными методами.

Четырехполюсник, включенный в высокочастотную линию с волно-

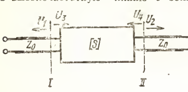


Рис. 5.1.

вым сопротивлением Z_0 (рис. 5.1), описывается следующей системой уравнений:

$$U_1 = S_{11}\,U_3 + S_{12}\,U_4;$$
$$U_2 = S_{21}\,U_3 + S_{22}\,U_4,$$

где U_1, U_2, U_3, U_4 — нормированные значения напряжений падающих, прошедших и отраженных сигналов, определяемые как квадратный корень из отношения мощности сигнала к волновому сопротивлению.

S-параметры измеряются при включении объекта в согласованный тракт. При этом соблюдаются соотношения

$$S_{11} = \frac{U_1}{U_3}\bigg|_{U_4=0},$$

$$S_{12} = \frac{U_1}{U_4}\bigg|_{U_3=0},$$

$$S_{21} = \frac{U_2}{U_3}\bigg|_{U_4=0},$$

$$S_{22} = \frac{U_2}{U_4}\bigg|_{U_3=0},$$

где S_{11}, S_{22} — коэффициенты отражения от входа и выхода объекта; S_{21}, S_{12} — коэффициенты передачи в прямом и обратном направлениях.

Включение объекта в согласованный тракт соответствует реальным условиям их использования, особенно в СВЧ диапазоне.

Если четырехполюсник имеет нагрузку с коэффициентом отражения $\Gamma_н$ и его необходимо определить как

двухполюсник со стороны входа, то коэффициент отражения выражается формулой

$$\Gamma_x = S_{11} + \frac{\Gamma_н S_{21} S_{12}}{1 - S_{22} \Gamma_н}.$$

Сложные объекты (2 n-полюсники) характеризуются матрицей $[S_{ij}]$ $i, j = 1, 2, ..., n$, каждый элемент которой является коэффициентом отражения от соответствующей пары полюсов одного из входов или выходов, или коэффициентом передачи между полюсами. При измерении параметров рассеяния $[S]$ все пары полюсов нагружаются на согласованные сопротивления (волновое сопротивление линии).

Иногда, например, при контроле условий неискаженной передачи, нет необходимости определять полную систему параметров, наоборот, достаточно получить частичную информацию.

В указанном примере достаточно проверить только постоянство амплитудно-частотной и линейность фазочастотной характеристик исследуемого объекта в полосе сигнала. В других случаях можно ограничиться измерением ослабления и проверкой условий согласования объекта с линией.

Наиболее распространенными параметрами являются:

— коэффициент ослабления или усиления

$$A = |S_{21}|;$$

— фаза коэффициента передачи

$$\varphi = \arg S_{21};$$

— коэффициент стоячей волны

$$K_{стU} = (1 + |\Gamma_x|)/(1 - |\Gamma_x|);$$

— полное сопротивление

$$Z = Z_0 (1 + \Gamma_x)/(1 - \Gamma_x);$$

— амплитудно-частотная характеристика $A(\omega)$;

— фазочастотная характеристика $\varphi(\omega)$;

— групповое время запаздывания

$$\tau = d\varphi/d\omega;$$

— волновое сопротивление линии Z_0.

Методы измерения этих параметров можно разделить на две группы, одни из которых основана на анализе распределения электромагнитного поля вдоль линии передачи для случая, когда устанавливается стоячая волна, а другая — на измерении отношений мощности или напряжений отраженных, прошедших и падающих электромагнитных волн.

Измерительные линии и приборы поляризационного типа

Наиболее распространенным, традиционным измерителем для СВЧ диапазона является измерительная линия. В этих приборах с помощью подвижного зонда исследуется распределение вдоль линии напряженности электромагнитного поля, из которого определяются коэффициент стоячей волны (КСВ) как отношение амплитуды в пучности волны к амплитуде в узле и фаза коэффициента отражения по смещению узла. Зная эти параметры, по круговым диаграммам рис. 5.2 и рис. 5.3 можно найти полное сопротивление или другие, удобные для использования в конкретной задаче, величины. Измерения с помощью измерительных линий производятся с использованием ГС или ГСС как источника сигнала. Отсчет показаний в пучности и узле производится по измерителю, индицирующему ток детектора. Амплитудная модуляция сигнала источника позволяет использовать селективный усилитель для повышения чувствительности. Настраиваемый резонатор индикаторной головки измерительной линии исключает влияние гармоник генератора.

Очень близкими к измерительным линиям по функциональным возможностям и методике использования являются измерители полных сопротивлений поляризационного типа (рис. 5.4). Они реализуются в виде коаксиального тройника, симметричные плечи которого нагружены на иссле-

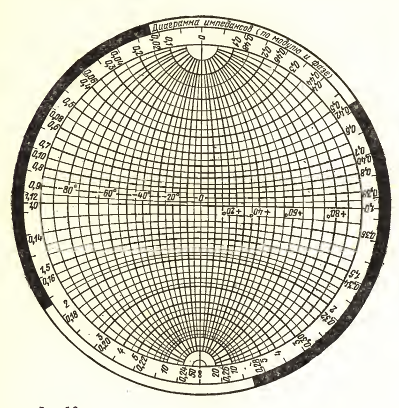


Рис. 5.2.

дуемый объект Z_x и образцовый конденсатор; к несимметричному плечу подводится сигнал. Нормализованное относительно волнового реактивное сопротивление конденсатора устанавливается равным единице механической подстройкой. Шкала перестраиваемого конденсатора проградуирована в единицах частоты. Над центром тройника вертикально расположен круглый запредельный волновод, в котором находится петля связи, нагруженная на детектор. Суммарный ток симметричных плеч $I_\Sigma = I_C + I_{Zx}$ (рис. 5.4) и ток несимметричного плеча $I_г$ возбуждают в круглом волноводе магнитные поля H_Σ и $H_г$. Вектор суммарного поля H_{11} складывается из двух вращающихся навстречу друг другу векторов. В момент их совпадения напряженность магнитного поля максимальна: $H_{max} = k(1+\Gamma_x)$, где k — постоянный коэффициент; при противоположных направлениях она минимальна: $H_{min} = k(1-\Gamma_x)$.

Конструкция петли, вращающейся относительно вертикальной оси, обеспечивает неизменную связь ее с полем. При повороте петли на 360° наблюдаются два максимума и два минимума напряженности. Угловое смещение экстремума относительно положения, соответствующего разомкнутой линии, составляет половину фазы коэффициента отражения. КСВ,

Рис. 5.3.

как и в измерительных линиях, определяется из отношения показаний низкочастотного индикатора при экстремальных значениях сигнала. Следует отметить, что приборы поляризационного типа имеют меньшую чувствительность, чем измерительные линии.

Однако они имеют существенно меньшие габаритные размеры, особенно в нижней части диапазона частот, и позволяют прямо отсчитывать фазу коэффициента отражения. Измерительные линии и поляризационные измерители позволяют измерять параметры двухполюсников.

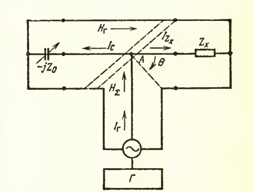


Рис. 5.4.

Измерители четырехполюсников

Работа измерителей четырехполюсников основывается на методах измерения отношений раздельно выделяемых величин падающих, отраженных и прошедших сигналов. Эти приборы могут измерять параметры как пассивных, так и активных объектов. Они измеряют коэффициенты усиления, ослабления и другие параметры, в том числе параметры отражения для активных объектов (когда коэффициент отражения больше единицы).

Сигналы, пропорциональные значениям падающей, отраженной и прошедшей волн, выделяются направленными ответвителями. В нижней части диапазона частот вместо ответвителей можно использовать направленные мосты. Два последовательных направленных ответвителя, ориентированные на выделение сигналов разных направлений, образуют рефлектометр. Два рефлектометра, включенные, как показано на рис. 5.5, позволяют выделять все сигналы, необходимые для измерения параметров четырехполюсника.

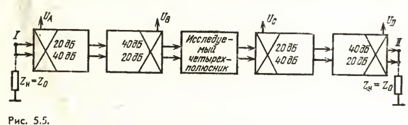


Рис. 5.5.

При подаче сигнала слева (*I*)

$$S_{11} = U_B/U_A; \quad S_{21} = U_C/U_A.$$

При подаче сигнала справа (*II*)

$$S_{12} = U_B/U_D; \quad S_{22} = U_C/U_D,$$

где U_A; U_B; U_C; U_D — нормированные значения напряжений.

Основным параметром направленных ответвителей, дающим основной вклад в погрешность аппаратуры, является направленность, определяемая как отношение сигналов на его выходе при прямом и обратном включениях. В современных измерительных приборах используются ответвители с направленностью 30—35 дБ при переходном ослаблении 20 дБ.

Если имеется возможность изменять положение ответвителей и направление подачи сигнала, то измерения можно проводить с помощью двух ответвителей. Так, при измерении модуля коэффициента передачи и КСВ обычно используют устройства, построенные по схемам, показанным на рис. 5.6 и 5.7. Источником сигнала является генератор с качанием частоты (ГКЧ), что обеспечивает панорамное наблюдение и индикацию параметров в полосе частот. Поскольку параметры КСВ и ослабле-

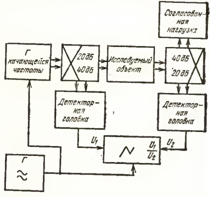


Рис. 5.6.

ния не зависят от фазовых соотношений ВЧ сигналов, то они определяются по отношению сигналов после амплитудных детекторов. Устройства индикации выполняются на частоте 100 кГц, для этого выходной сигнал ГКЧ модулируется меандром этой частоты. Синхронизация развертки осциллографа и модуляции частоты ГКЧ обеспечивает индикацию в координатах параметр — частота.

При измерении модуля коэффициента передачи или его зависимости от частоты (АЧХ) можно использовать устройство, не содержащее направленных ответвителей (рис. 5.8). Измерение такими приборами основано на методе замещения. При калибровке сигнал подается непосредственно на детектор; на выходе ГКЧ аттенюаторы устанавливаются в положение максимального ослабления, условно принимаемого за 0 дБ. После фиксации показаний прибора включается исследуемый объект. Восстанавливая показания индикатора, соответствующие его положению при калибровке, по изменению величины ослабления аттенюатора ГКЧ можно определить ослабление исследуемого объекта. Измерение АЧХ по экрану осциллографического индикатора возможно без отключения исследуемого четырехполюсника. Для этого начальное значение аттенюатора, условно принимаемое за 0 дБ, устанавливается при максимальном значении коэффициента передачи в заданном диапазоне частот. Отсчет на какой-либо из частот диапазона производится по аттенюатору совмещением луча на экране с линией, соответствующей начальной установке, или по зараиее прокалиброванной шкале осциллографического индикатора. Для удобства отсчета в приборах обычно имеется электронная визир-линия, показывающая начальную установку или отсчитываемую точку.

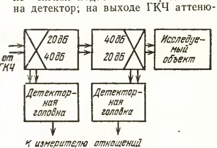


Рис. 5.7.

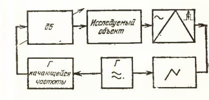


Рис. 5.8.

В измерителях частотных характеристик для отсчета значения частоты предусматривается система частотных меток, получаемых в результате детектирования сигнала, прошедшего через резонансный волномер, или смешения сигнала ГКЧ с «сеткой частот», задаваемой сигналом с кварцевого генератора.

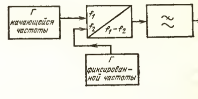


Рис. 5.9.

Генераторы с качанием частоты выполняют либо непосредственно на заданный диапазон частот, либо переносят их сигнал в требуемый диапазон частот путем преобразования частоты. Устройство с преобразованием (рис. 5.9) позволяет получить большое перекрытие частотного диапазона, что особенно важно на низких частотах.

При измерении параметров цепей, особенно без использования направленных ответвителей, необходимо учитывать, что при несогласованности выходного сопротивления источника, входного сопротивления индикатора, входного и выходного сопротивлений объекта возникают дополнительные погрешности, которые не гарантируются характеристиками приборов.

Измерение фазовых характеристик цепей

Фазовые характеристики цепей можно измерять с помощью измерителей разности фаз сигналов. Работа этих приборов обычно основана на методе преобразования разности фаз измеряемых сигналов во временной интервал, который можно пояснить упрощенной структурной схемой (рис. 5.10 и 5.11). Входные формирователи

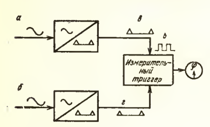


Рис. 5.10.

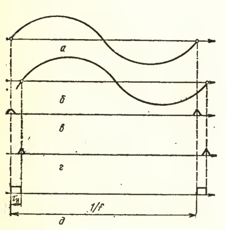


Рис. 5.11.

вырабатывают короткие импульсы в момент перехода сигналов (рис. 5.11) через нуль в определенном направлении. На выходе измерительного триггера получаются импульсы постоянной амплитуды (рис. 5.11, *д*), длительность которых $\tau_и$ равна интервалу времени между переходами через нуль сигналов в каналах *а* и *б* (рис. 5.10). Среднее значение тока $I_{ср}$ на выходе триггера, измеряемое прибором, линейно зависит от разности фаз входных сигналов:

$$I_{ср} = k\tau_и\,\omega = 2\pi\,k\,(\tau_и/T) = k\varphi,$$

где k — постоянный коэффициент; φ — фазовый сдвиг; $\tau_и$ — длительность импульса.

Таким образом, при использовании этого метода показания прибора не зависят от частоты. Для исключения неопределенности отсчета фазового сдвига при его значении, близком к нулю, из-за конечной длительности импульсов на выходе формирователя и ограниченного быстродействия триггера вводится фазовый сдвиг 180° в одном из каналов. В этом случае малые значения φ будут наблюдаться на фоне общего фазового сдвига около 180°. Измерения во всем диапазоне углов могут производиться при использовании переключаемого фазовращателя в одном из каналов.

Схема на рис. 5.10 обычно используется для измерений до частот порядка 1 МГц. На более высоких частотах применяется двухканальное преобразование частоты, что и отражено в структурной схеме прибора на рис. 5.12. С помощью гетеродина и смесителей, включенных на входе каждого канала, информация об амплитудах и фазах входных сигналов переносится на промежуточную частоту. Фиксированное значение промежуточной частоты устанавливается автоматической подстройкой частоты гетеродина. Схема подстройки исключает возможность настройки на зеркальный канал, что позволяет избежать ошибки в определении знака фазы.

Преобразованные сигналы поступают на измеритель разности фаз и на измеритель напряжений (или измеритель отношения уровней сигналов). Для уменьшения габаритных размеров приборов и повышения удобств эксплуатации применяются стробоскопические преобразователи частоты (рис. 5.13), в которых гетеродинный сигнал представляет собой

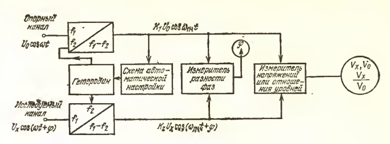


Рис. 5.12.

последовательность коротких импульсов. Поступающий на вход смесителя высокочастотный сигнал стробируется короткими импульсами, которые

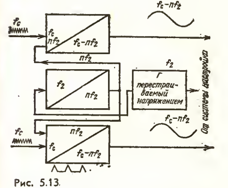


Рис. 5.13.

формируются из сигнала задающего, перестраиваемого напряжением генератора в две ступени: сначала на диодах с накоплением заряда формируется перепад с крутым фронтом, затем на диодах смесителя с помощью пассивного формирователя создаются короткие импульсы. Пассивный формирователь является составной частью самого смесителя, на выходе которого получается сигнал частотой

$$f_{пч} = f_c - n f_г,$$

где n — номер гармоники частоты генератора $f_г$.

Частота перестраиваемого генератора обычно изменяется в полосе с перекрытием в октаву. Так, для прибора диапазона 1—1000 МГц (ФК2-12) частота генератора изменяется в пределах 1—2 МГц, а для прибора диапазона 0,11—7 ГГц (ФК2-14) — в пределах 65—130 МГц. Стробоскопическое преобразование частоты позволяет выполнить приборы, имеющие частотный диапазон с перекрытием 100—1000, без большого количества сменных элементов-смесителей и гетеродинов.

Для уменьшения влияния изменения значений амплитуд входных сигналов на погрешность фазовых измерений в каждый канал рис. 5.10 включаются ограничители.

Измерение напряжения на фиксированной частоте производится обычным вольтметром, на вход которого подается сигнал с опорного или измерительного канала. Термины «опорный» и «измерительный» введены потому, что такие приборы выполняют относительные измерения величин ослабления (усиления) или фазового сдвига в одном из каналов по отношению к другому. Канал, в который включается испытуемый объект, принято называть измерительным.

Измеритель отношений напряжений в измерительном и опорном каналах реализуется по схеме, состоящей из усилителей с АРУ, включенных в оба канала. Сигнал на детектор АРУ поступает с усилителя в опорном канале, а сигнал с АРУ поступает на оба усилителя. Таким образом, для индикации отношения сигналов достаточно измерять сигнал в исследуемом канале.

В измерителях разности фаз диапазона 0,11—7,0 ГГц (ФК2-14) и комплексного коэффициента передачи (РК4-10) используются общие блоки преобразования, а также базовый блок со сменными индикаторными устройствами.

Измерение группового времени запаздывания

При больших электрических длинах исследуемых объектов, когда измерения фазовой характеристики не могут быть точными из-за большой крутизны ФЧХ, используется параметр — групповое время запаздывания (ГВЗ) τ. Наиболее распространенным способом измерения ГВЗ является

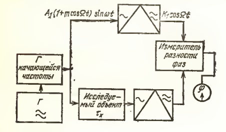


Рис. 5.14.

метод Найквиста с использованием амплитудной модуляции. Упрощенная структурная схема измерителя, работа которого основана на этом методе, приведена на рис. 5.14. Модулированный по амплитуде сигнал генератора с качанием частоты проходит через исследуемый объект и поступает на АМ-детектор. Сигнал в другом канале поступает непосредственно на АМ-детектор. Тогда разность фаз огибающих сигналов частоты модуляции составит $\varphi=\Omega\tau$ и измеритель разности фаз может быть проградуирован в величинах времени задержки. Частота модуляции Ω обычно выбирается достаточно малой. Для измерения изменения времени задержки в диапазоне частот достаточно на какой-либо частоте этого диапазона установить нуль измерителя разности фаз и следить за его показаниями при изменении частоты сигнала ГКЧ.

При исследовании широкополосных линий, например кабельных, используется импульсный метод измерения времени распространения сигнала. Он удобен для определения расстояния до неоднородности в линии (короткого замыкания, разрыва и т. п.). Метод основан на измерении временного интервала τ между импульсом, поступающим на вход кабеля, и импульсом, отраженным от неоднородности. Расстояние до неоднородности l определяется в предположении отсутствия дисперсии в линии по формуле

$$l=\tau c_\varepsilon/2.$$

По амплитуде и знаку отраженного импульса можно судить также о характере неоднородности.

Измерение S-параметров

Измерители полной системы S-параметров состоят из источника сигналов, узлов или блоков, разделяющих и коммутирующих сигналы, и векторного измерителя отношений сигналов. Для достаточно быстрого выбора исследуемого параметра, в том числе дистанционного, может применяться блок, структурная схема которого приведена на рис. 5.15. Выбор исследуемого параметра определяется положением переключателей $K1$, $K2$, $K3$. Сохранение условия включения объекта между согласованными нагрузка-

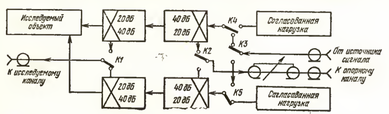


Рис. 5.15.

ми обеспечивается переключателями *K4*, *K5*. При измерении параметров отражения (полных сопротивлений, проводимости и т. д.) наиболее удобной является индикация в полярных координатах. Поэтому в приборах для измерения S-параметров (в векторном измерителе отношений) индикатор может быть реализован по схеме на рис. 5.16, обеспечивающей пре-

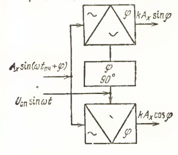


Рис 5.16.

образование сигналов в полярные координаты. Выходные сигналы с этого устройства, пропорциональные $\Gamma \sin\varphi$ и $\Gamma \cos\varphi$, поступают на горизонтальный и вертикальный входы осциллографического индикатора. Сменные диаграммы, накладываемые на экран, позволяют непосредственно отсчитывать параметры. Эти же измерители S-параметров позволяют индицировать результаты и в прямоугольных координатах с раздельной индикацией модуля и фазы параметров.

Приборы, измеряющие полную систему S-параметров, находят все более широкое применение. Это обусловлено усложнением высокочастотных устройств из-за применения активных элементов (транзисторов, диодов Ганна). Поэтому для синтеза и анализа их используется метод математического моделирования. Так, например, измерители S-параметров широко применяются для измерения параметров СВЧ транзисторов.

Принятая для низкочастотных транзисторов система гибридных (h) параметров не оптимальна на СВЧ по следующим причинам. Во-первых, на частотах выше 300—1000 МГц измерение токов и напряжений не представляется возможным. Во-вторых, включение транзистора в режим короткого замыкания на выходе и холостого хода на входе приводит к его возбуждению.

Параметры транзисторов СВЧ измеряются с помощью устройства, схема которого показана на рис. 5.17. S-параметры транзистора измеряются так же, как и для любого другого объекта. Отличие заключается в задании режима питания по центральным проводникам через фильтры и в использовании специальных держателей, подключающих транзистор к тракту. Калибровка осуществляется по проходной и короткозамкнутой секциям, конструкции которых соответствуют конструкции исследуемых транзисторов. Параметры транзистора можно измерить при любой схеме его включения.

Величины коэффициентов передачи и отражения (S-параметры) безразмерны. При измерении параметров двухполюсников по коэффициенту отражения и известному значению волнового сопротивления Z_0 определяется полное сопротивление, измеряемое в омах. Возможно также определение проводимости $1/Z$.

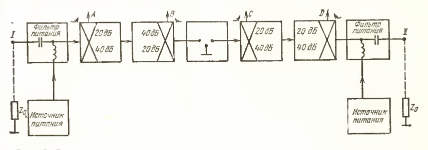


Рис. 5.17.

Коэффициенты усиления или ослабления выражаются в логарифмических единицах — децибелах, определяющих отношения мощностей P_2/P_1 или напряжений U_2/U_1 на входе и выходе:

$$A = 10 \lg P_2/P_1 = 20 \lg U_2/U_1.$$

Поскольку в некоторых приборах отсчет значений отношений приводится в децибелах, в других — непосредственно в значениях отношений напряжений, удобно воспользоваться таблицей пересчета (табл. 5.2). В табл. 5.2 приведены также результаты пересчета параметров отражения, которые могут измеряться в децибелах.

Таблица 5.2

дБ	Отношение напряжений	Отношение мощностей	Г	КСВн	дБ	Отношение напряжений	Отношение мощностей	Г	КСВн
0,0	1,00	1,000	1,00		10	3,16	10,0	0,316	1,93
0,2	1,02	1,05	0,976	82	11	3,66	12,6	0,282	1,78
0,4	1,05	1,10	0,954	42	12	3,98	15,8	0,251	1,67
0,6	1,07	1,15	0,931	28	13	4,47	19,9	0,224	1,58
0,8	1,10	1,20	0,913	22	14	5,01	25,1	0,200	1,50
1,0	1,12	1,26	0,890	17	15	5,62	31,6	0,178	1,43
1,2	1,15	1,32	0,870	14	16	6,31	39,8	0,158	1,37
1,4	1,17	1,38	0,850	12	17	7,08	50,1	0,141	1,33
1,6	1,20	1,44	0,831	11	18	7,94	63,1	0,126	1,29
1,8	1,23	1,51	0,810	9,5	19	8,91	79,4	0,112	1,25
2,0	1,26	1,58	0,795	8,7	20	10,0	100,0	0,100	1,222
2,5	1,34	1,78	0,75	7,0	25	17,7	$3,16 \cdot 10^2$	0,056	1.119
3,0	1,41	1,99	0,707	5,8	30	31,6	10^3	0,032	1,066
3,5	1,50	2,24	0,669	5,04	35	56,2	$3,16 \cdot 10^3$	0,0178	1,0362
4,0	1,58	2,51	0,630	4,35	40	100,0	10^4	0,0100	1,0202
4,5	1,68	2,81	0,595	3,94	45	177	$3,16 \cdot 10^4$	0,0056	1,0113
5,0	1,78	3,16	0,568	3,56	50	316	10^5	0,0032	1,0060
5,5	1,88	3,55	0,53	3,26	55	526	$3,16 \cdot 10^5$	0,00278	1,0036
6,0	1,99	3,98	0,502	3,02	60	1000,0	10^6	0,0010	1,0020
6,5	2,11	4,47	0,474	2,81					
7,0	2,24	5,01	0,447	2,62					
7,5	2,37	5,62	0.422	2,46					
8,0	2,51	6,31	0,399	2,32					
8,5	2,65	7,2	0,376	2,2					
9,0	2,82	7,94	0,355	2,1					
9,5	3,00	9,00	0,335	2,0					

Метрологическая поверка приборов

Метрологическая поверка приборов, измеряющих коэффициенты передачи и отражения, выполняется с помощью образцовых мер этих величин — делителей напряжения, аттенюаторов, рассогласованных и согласованных нагрузок.

При калибровке измерительных линий, измерителей полных сопротивлений, КСВ, измерителей S-параметров в режиме измерения двухполюсников используются короткозамкнутые или разомкнутые отрезки линий, образцовые нагрузки с КСВ-1,2; 1,4; 2 или подвижные короткозамкнутые отрезки линий, рассогласованные и согласованные нагрузки. Нагрузки с КСВ-1,4 и 2 можно применять при калибровке прибора в режиме измерения параметров отражения. Это позволяет ис-

пользовать диаграммы с повышенным разрешением вблизи зоны согласования для случаев, когда величина нагрузки близка к волновому сопротивлению.

Аттенюаторы, направленные ответвители (по направленности и переходному ослаблению), образцовые нагрузки (в схеме рефлектометра) проверяются с помощью образцовых установок для калибровки аттенюаторов. Эти приборы могут применяться и в случаях, когда необходимо измерить ослабления объектов до 80—140 дБ и обеспечить существенно высокую точность измерений (десятые и сотые доли децибела). Эти приборы позволяют также калибровать аттенюаторы, встроенные в ГСС. Чувствительность их достигает 10^{-15}—10^{-19} Вт, что соответствует минимальному уровню сигнала на выходе калибруемого аттенюатора.

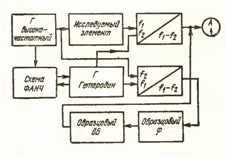


Рис. 5.18.

Измерители ослаблений работают по принципу сравнения ослабления исследуемого объекта с ослаблением образцового аттенюатора предельного типа. Сравнение ослаблений производится когерентным (рис. 5.18) или модуляционным (рис. 5.19) методом. При когерентных измерениях сигналы сравниваются по компенсационной схеме на фиксированной промежуточной частоте. Настройка частот генераторов сигнала и гетеродина осуществляется вручную. Точная подстройка промежуточной частоты выполняется системой ФАПЧ. Поскольку балансировка производится как по уровню сигналов, так и по их фазе, то последовательно с образцовым аттенюатором включается компенсирующий фазовращатель, по которому можно отсчитать фазовый сдвиг сигналов в СВЧ тракте.

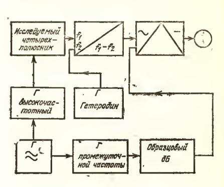


Рис. 5.19.

Измеритель модуляционного типа выполняется с одноканальным преобразованием частоты. Измеряемый сигнал сравнивается с уровнем сигнала генераторв промежуточной частоты. Входные сигналы модулируются меандрами, причем фазы модулирующих сигналов для генератора СВЧ и генераторов промежуточной частоты отличаются на 180°. При равенстве сигналов на входе амплитудного детектора на его выходе сигнал модулирующей частоты отсутствует.

При измерении абсолютной величины ослабления измеряемого объекта его сначала исключают из тракта, производят балансировку сигналов, затем его включают в СВЧ тракт и вновь производят балансировку. Разность показаний образцового аттенюатора соответствует величине измеряемого ослабления. Образцовый аттенюатор имеет очень малую погрешность, определяемую в основном точностью его механического изготовления.

5.2. Измерительные линии

Измерительная линия предназначена для измерения параметров стоячих волн, которые образуются в результате интерференции падающей и отраженной волн.

Параметрами стоячих волн являются: экстремальные значения амплитуды U_{max}; U_{min} и их местоположение l_x вдоль линии.

По измеренным значениям параметров стоячих волн можно рассчитать коэффициент стоячей волны или коэффициент отражения от оконечной нагрузки; длину волны или частоту сигнала; импеданс (проводимость) нагрузки; малые потери четырехполюсников; коэффициенты матрицы рассеяния четырехполюсников; параметры материалов (ε, μ).

Параметры измерительных линий регламентируются ГОСТ 11294—74, в соответствии с которым линии по точности разбиты на три класса. Этим же ГОСТ регламентируются способы подсчета погрешностей измерения КСВ и фазы коэффициента отражения в зависимости от параметров линии: остаточного или собственного КСВ линии, неравномерности связи зонда с полем линии, шунтирующей проводимости зонда и индикаторного прибора.

Для исключения погрешности из-за неквадратичности характеристики детектора рекомендуется работать при уровнях мощности в тракте не более 1 мВт.

Основные параметры коаксиальных линий приведены в табл. 5.3.

Волновое сопротивление линии Р1-25 75 Ом, остальные линии имеют волновое сопротивление 50 Ом.

Присоединительные размеры ВЧ соединителей коаксиальных трактов и фланцевых соединений волноводных трактов приведены в ГОСТ 13317-73.

Измерительные линии соответствуют этому стандарту. Измерения на линиях можно производить с соединителями типов «Штырь» и «Гнездо».

Линии комплектуются согласованными нагрузками, нагрузками для контроля параметров линий и набором переходов.

Линия Р1-22 является последней модификацией измерительных линий на канал 16/7 мм, заменяет линии Р1-6А, Р1-2. Она имеет малое значение собственного КСВ в диапазоне до 5 ГГц.

Линия Р1-3 предназначена для коаксиального тракта сечением 10/4, 34 мм. В новой радиоизмерительной аппаратуре этот тракт не используется, поэтому линия Р1-3 обслуживает лишь ранее выпущенную аппаратуру. Измерения на этой линии гарантируются только с соединителями типа «Гнездо».

Основные параметры волноводных линий приведены в табл. 5.4.

Сечение волновода 17×8 не является перспективным, и в новых разработках его применять не рекомендуется.

Линии Р1-30 и Р1-31 являются модификациями линий Р1-12 и Р1-13.

Линии Р1-32 и Р1-33 заменяют линии Р1-14 и Р1-15.

Линии Р1-27, Р1-28, Р1-29 заменяют комплект линий Р1-4.

Таблица 5.3

Тип прибора	Диапазон частот, ГГц	Собственный КСВ	Неравномерность связи зонда, %	ВЧ тракт, сечение, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кГ	Класс линии
Р1-17	0,5—3	1,04	2	7/3	772×250×214	22	II
Р1-18	2—12,4	1,07—1,1	3	7/3	368×280×174	8	III
Р1-22	1—7,5	1,025—1,07	1,2	16/7	440×233×300	11	II
Р1-3	2,5—10,35	1,07	2,0	10/4,34	270×290×150	4,5	III
Р1-25	1—3	1,04		16/4,6	465×275×350	11	III

Таблица 5.4

Типы линий		Сечение волновода, мм	Диапазон частот, ГГц
II класса	III класса		
P1-21	P1-27	28.5×12,6	6,85—9,93
P1-20	P1-28	23×10	8,24—12,05
P1-19	P1-29	16×8	12,05—17,44
P1-19/1	—	17×8	11,55—16,66
P1-13A	P1-30	11×5,5	17,44—25,86
P1-12A	P1-31	7,2×3,4	25,86—37,5
—	P1-32	5,2×2,6	37,5—53,6
—	P1-33	3,6×1,8	53,6—78,33

Примечание. Собственный КСВ линий II класса не более 1,02; неравномерность связи зонда менее 1,4%. Собственный КСВ линий III класса не более 1,03, для линий P1-32 и P1-33 не более 1,07, неравномерность связи зонда менее 2%, для линии P1-32 и P1-33 менее 3%.

5.3. Измерители полных сопротивлений

Измерители полных сопротивлений по методам использования и метрологическому обеспечению аналогичны измерительным линиям. В отличие от последних эти приборы не позволяют только определить длину волны. В нижней части диапазона они имеют существенно меньшие габаритные размеры по сравнению с измерительными линиями.

Эти приборы являются измерителями полных сопротивлений поляризационного типа. При работе с ними используется внешний источник сигнала, включаемый через фильтр из комплекта, прилагаемого к прибору. Отсчет показаний КСВ производится по внешнему измерительному усилителю, отсчет фазы — непосредственно по лимбу. Рабочая частота устанавливается вручную.

Волноводные приборы не требуют настройки при изменении частоты.

Коаксиальные измерители полных сопротивлений

Коаксиальные измерители (рис. 5.20) полных сопротивлений предназначены для измерения полных сопротивлений, КСВ, модулей и фазы коэффициента отражения коаксиальных двухполюсников.

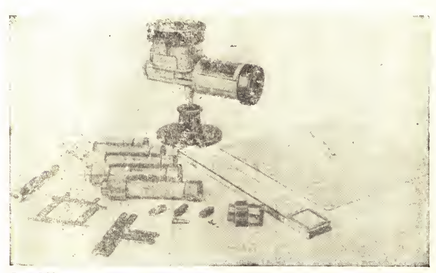


Рис. 5.20.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения КСВ 1,1—10

Диапазон измерения фазового угла 0—360°

Относительная погрешность измерения КСВ ± 7%

Погрешность измерения фазового угла ±7° при КСВ = 2

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Тип прибора	Диапазон частот, МГц	Волновое сопротивление, Ом	Сечение тракта, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Р3-32 Р3-33	20—150	50 75	16/7 16/4,6	285×130×200	3,8
Р3-34 Р3-35	150—1000	50 75	16/7 16/4,6	175×170×110	2,3

Волноводные измерители полных сопротивлений



Рис. 5.21.

Волноводные измерители полных сопротивлений (рис. 5.21) предназначены для измерения полных сопротивлений, КСВ, модуля и фазы коэффициента отражения двухполюсников, выполненных на волноводах стандартного ряда сечений.

Основные технические характеристики

Тип прибора	Сечение волновода, мм	Диапазон частот, ГГц	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Р3-39	17×8	12,0—16,67	170×170×265	4,2
Р3-40	23×10	8,24—12,05	170×170×265	5
Р3-41	28,5×12,6	6,85—9,98	170×170×265	5,5
Р3-42	35×15	5,64—8,24	170×170×265	6,3
Р3-43	40×20	4,8—6,85	142×144×282	6,8
Р3-44	48×24	3,94—5,64	173×157×297	8,8
Р3-45	58×25	3,2—4,8	207×157×284	9,8
Р3-46	72×34	2,59—3,94	248×181×340	12,8
Р3-47	90×45	2,14—3,2	303×210×390	17
Р3-48	110×55	1,72—2,59	375×240×450	25,5

Диапазон измерения КСВ 1,05—2
Диапазон измерения фазового угла 0—360°
Относительная погрешность измерения КСВ ±4%

Погрешность измерения фазового угла:
±4° при КСВ=2,
±10° при КСВ=1,2

5.4. Измерители коэффициента стоячей волны

Измерители коэффициентов стоячей волны обеспечивают автоматизированные измерения наиболее распространенных в СВЧ диапазоне параметров — КСВ и ослаблений (модулей *S*-параметров). Они позволяют наблюдать и измерять частотные характеристики этих величин, что особенно важно для объектов, имеющих резонансы (пики ослабления или пропускания).

Коаксиальные и волноводные измерители перекрывают диапазон частот 20 МГц — 12,4 ГГц.

Коаксиальные измерители КСВ и ослаблений

Коаксиальные измерители предназначены для измерения КСВ и ослабления коаксиальных двух- или четырехполюсников с панорамной индикацией по электронно-лучевой трубке. Коаксиальные измерители работают в диапазоне до 4 ГГц (табл. 5.5).

Таблица 5.5

Тип прибора	Р2-46	Р2-34	Р2-35	Р2-36	Р2-37	Р2-38
Диапазон частот, ГГц	0,02—1,07	0,25—0,5	0,485—0,97	0,625—1,25	1,07—2,14	2—4

Измеритель КСВ и ослабления панорамный Р2-46

Прибор (рис. 5.22) предназначен для измерения КСВ и ослаблений с панорамной индикацией на электронно-лучевой трубке.


Рис. 5.22.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения КСВ 1,05—2,0
Диапазон измерения ослаблений до 35 дБ
Относительная погрешность измерения КСВ ±5%
Относительная погрешность при измерении ослабления $\pm(0,5+0,05\,A_x)$ дБ
Волновое сопротивление линии

50 Ом при сечении коаксиалов 7/3, 16/7 и 75 Ом при сечении коаксиала 16/4,6

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 180 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, влажность до 98% при +30° С

Блоки прибора	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ГКЧ	480×475×120	20
Я2Р-19	480×550×220	25
Рефлектометр	400×250×220	10

Структурная схема прибора Р2-46 приведена на рис. 5.23.

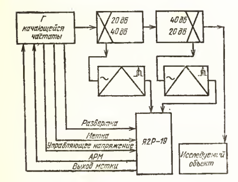


Рис. 5.23.

Индикатор Я2Р-19 (рис. 5.24) позволяет осуществлять панорамное наблюдение характеристики КСВ или ослабления. Отсчет этих величин производится по шкале при совмещении положений отсчитываемой точки и электронного визира, что обеспечивается следящей системой. На индикаторы поступают сигналы падающей и отраженной волн с детекторов рефлектометра. Сигнал, пропорциональный падающей волне, усиливается и может использоваться для управления мощностью ГКЧ, для этого имеется выход на передней панели прибора («Выход АРМ»). Изменяя усиление в тракте отраженного сигнала, можно варьировать пределами измерения. Регулировка коэффициента усиления усилителя в канале отраженного сигнала позволяет реализовать схему для измерения отношения опорного сигнала к измеряемому и производить коррекцию частотной характеристики. Индикатор Я2Р-19 используется во всех приборах, указанных в табл. 5.6 и 5.7, кроме прибора Р2-32.

В генераторе качающейся частоты прибора Р2-46 (рис. 5.25) используются два задающих, перестраиваемых с помощью варакторов генератора (360—680 МГц и 680—1070 МГц). Сигнал диапазона 20—360 МГц получается преобразованием частоты сигналов 680—1020 МГц и фиксированной частоты 660 МГц. Использование коммутаторов позволяет обеспечить диапазон 20—1070 МГц на одном выходе прибора. В генераторе предусмотрены следующие режимы работы: внутреняя и внешняя АМ, внешнее управление мощностью (АРМ).

С помощью переключателей на передней панели устанавливаются следующие режимы перестройки частоты:

— перестройка от начальной f_1 до конечной частоты f_2 со скоростями 0,08, 1 и 10 с периодически и 40 с при разовом запуске;

— перестройка при 10%-ной полосе свипирования;

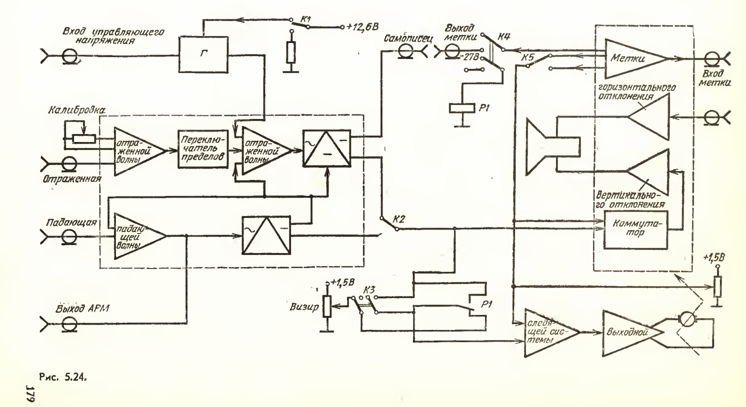
— установка частоты в ручном режиме (генератор сигнала), отсчет частоты по метке (f_0).

Начальная частота 20 МГц устанавливается по стрелочному индикатору ручкой на передней панели.

На задней стенке прибора имеются разъемы, с которых на внешние устройства могут быть поданы сигналы развертки, импульсы синхронизации развертки, метки, АМ и управляющие напряжения.

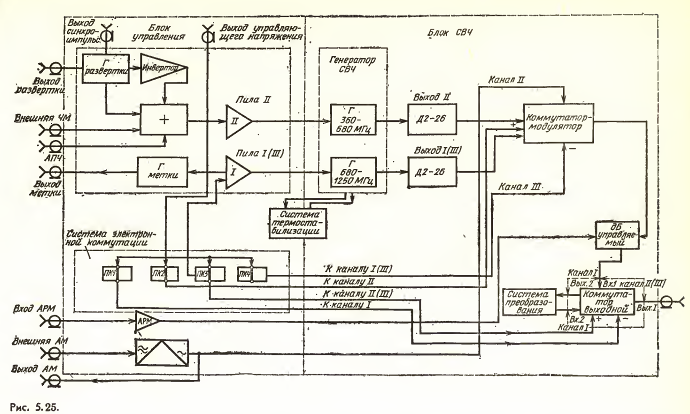
На разъемы, установленные на задней стенке, можно подать сигналы внешней ЧМ, АПЧ и АМ.

Прибор выполнен полностью на полупроводниковых элементах.



Вход управляющего напряжения
Г
К1
+12,6В
Калибровка
Отраженная
отраженной волны
Переключатель пределов
отраженной волны
Падающая
падающей волны
Выход АРМ
Самописец
Выход метки
-27В
К4
К5
Р1
К2
+1,5В
К3
Визир
Метки
Вход метки
горизонтального отклонения
вертикального отклонения
Коммутатор
следящей системы
выходной
+1,5В

Рис. 5.24.



Выход синхро-импульс.
Блок управления
Выход управляющего напряжения
Блок СВЧ
Г развертки
Инвертор
Выход развертки
Внешняя ЧМ
АПЧ
Выход метки
+
Г метки
Пила II
Пила I (III)
II
I
Генератор СВЧ
Г 360-680 МГц
Г 680-1250 МГц
Выход II
Выход I (III)
Д2-26
Д2-26
Канал II
Канал III
Коммутатор-модулятор
Система термостабилизации
Система электронной коммутации
ПК1
ПК2
ПК3
ПК4
К каналу I (III)
К каналу II
К каналу II (III)
К каналу I
дБ управляемый
Канал I
Вых. 2
Вх1 канал II (III)
Система преобразования
Коммутатор выходной
Вых. I
Вх. 2
Канал I
Вход АРМ
АРМ
Внешняя АМ
Выход АМ

Рис. 5.25.

Измерители КСВ и ослаблений панорамные Р2-34 — Р2-38

Назначение прнборов (рис. 5.26) аиалогично назначенню измерителя Р2-46.

Основные технические характеристики

Дизапазои измереиия КСВ 1,07—2,0
Диапазои измереиня ослабления 0—30 дБ
Погрешность при нзмереинн КСВ ±5%

Блок прибора	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ГКЧ	480×420×280	45
Я2Р-19	480×550×220	25

Структурная схема измерителей соответствует изображеннои иа рис. 5.23.

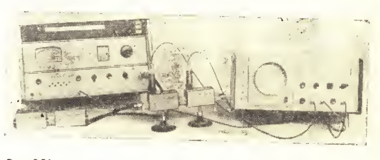


Рис. 5.26.

Отиосительная погрешиость прн измереиии ослаблеиия

$$\pm(0{,}5+0{,}05A_x)\text{дБ}$$

Питание от сети перемеииого тока частотой 50±0,5 Гц, иапряжеиием 220±22 В

Потребляемая мощиость 360 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, влажиость до 98% при +30° С

В прнборах примеияются ндикаторы Я2Р-19, ГКЧ, выполиенные на митроиах, н рефлектометры соответствующего диапазоиа. Максимальная полоса качаиия частоты — весь диапазон, мииимальиая 1%. Погрешность установки частоты с использованием волномера ±0,5% для приборов Р2-34 — Р2-36 и ±0,2% для Р2-37, Р2-38.

Измереиия производятся в трактах с волиовым сопротивлением 50 Ом (сечение 16/7 мм) и 75 Ом (сечеиие 16/4,6 мм).

Измерители КСВ и ослаблений панорамные Р2-40 — Р2-45

Назиачение приборов (рис. 5.27) аиалогичио иазиачеиию измерителя Р2-46, ио для волиоводных трактов.

Основные технические характеристики

Диапазои измерения КСВ 1,05—2, индикация 1,02—∞

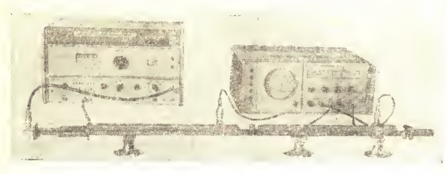


Рис. 5.27.

Диапазон измерения ослабления 0—35 дБ, индикация 0—40 дБ

Относительная погрешность измерения КСВ ±5%

Относительная погрешность измерения ослабления $\pm(0{,}5+0{,}05A_x)$ дБ

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 360 ВА.

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, влажность до 95% при +30° С

Блок прибора	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ГКЧ	480×420×280	40
Я2Р-19	480×550×220	25

Тип прибора	Р2-40	Р2-41	Р2-42	Р2-43	Р2-44	Р2-45	Р2-32
Диапазон частот, ГГц	2,6—4	3,2—4,94	3,8—5,96	5,55—8,33	6,85—10,02	8,15—12,42	11,55—16,66
Сечение, мм	72×34	58×25	48×24	35×15	28 5××12,6	23×10	17×8 с переходом 16×8

В приборах используются индикаторы Я2Р-19 и ГКЧ, выполненные на ЛОВ. Погрешность измерения частоты по волномеру 0,2%, погрешность отсчета по шкале 3%.

Измеритель КСВ и ослаблений панорамный Р2-32

Прибор Р2-32 (рис. 5.28) не входит в единую серию приборов Р2-40 — Р2-45, так как он отличается по конструкции, но его функциональные возможности и методика использования аналогичны этим приборам.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения КСВ 1,05—2,0, индикация 1,0—5,0

Диапазон измерения ослабления 0—30 дБ

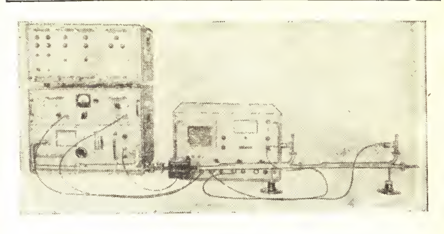


Рис. 5.28.

Относительная погрешность измерения КСВ $\pm(2+5K)\%$ для сечения волновода 16×8 мм

Относительная погрешность измерения ослабления $\pm(0{,}5+0{,}05A_x)$ дБ

Питание от сети переменного тока частотой $50\pm0{,}5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 700 ВА

Условия эксплуатации: температура $+10$ до $+35°$ С, относительная влажность до 80% при $+30°$ С

Блок прибора	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ГКЧ	378×500×360	40
Источник питания	258×500×360	36
Индикатор	500×320×420	38

5.5. Измерители амплитудно-частотных характеристик

Измерители амплитудно-частотных характеристик предназначены для панорамного наблюдения формы и измерения величин неравномерности амплитудно-частотных характеристик.

Диапазоны частот измерителей амплитудно-частотных характеристик приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Тип прибора	X1-36	X1-40, X1-41	X1-38, X1-39	X1-7Б	X1-19А	X1-30
Диапазон частот, МГц	$20\cdot10^{-6}$—$200\cdot10^{-3}$	$20\cdot10^{-6}$—1	0,1—100	0,4—980	0,5—1000	0,5—1200

Приборы для исследования амплитудно-частотных характеристик Х1-40 и Х1-41 (рис. 5.29)

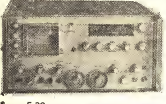


Рис. 5.29.

Приборы Х1-40 (рис. 5.29) и Х1-41 (рис. 5.30) предназначены для измерения модулей коэффициентов передачи четырехполюсников и их АЧХ.

Основные технические характеристики

Диапазон рабочих частот разделен на два поддиапазона: 20 Гц — 40 кГц (I) и 10 кГц — 1 МГц (II)

Рис. 5.31.

Поддиапазон	Полоса качания, кГц	
	широкая	узкая
I	1—2	0,1—1
II	3—30	0,3—3

Относительная погрешность измерения частоты по шкале:

±3 кГц на I поддиапазоне,

±30 кГц на II поддиапазоне,

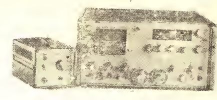


Рис. 5.30.

Погрешность измерения ослабления:

$\pm(0{,}3+0{,}06A_x)$ дБ при ослаблениях менее 15 дБ,

±1 дБ при значениях ослабления менее 40 дБ

Собственная частотная неравномерность амплитудной характеристики:

±0,4 дБ в линейном масштабе,
±1,5 дБ в логарифмическом масштабе

Импеданс выхода 75, 150, 600 и 1000 Ом.

Импеданс входа 300 кОм, 40 пФ.

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В; а также частотой 400±4 Гц, напряжением 220±11 В

Тип прибора	Потребляемая мощность, ВА	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Х1-40	1000	480×225×475	35
ГОЧ	10	165×156×286	3

Структурная схема прибора Х1-40 приведена на рис. 5.31.

Генератор опорных частот (ГОЧ) формирует 11 специальных частотных меток на характерных частотах, в том числе 3, 128, 465 кГц. Работа в узкополосном режиме качания частоты позволяет исследовать параметры объектов с высокой селективностью. Внешним генератором можно установить метку на любой частоте.

Исследуемые характеристики можно наблюдать в линейном и логарифмическом масштабах.

Канал вертикального отклонения (КВО) прибора имеет чувствительность 1 мм/мВ. Измерения можно производить с помощью малоемкостного (17 пФ) высокоомного (100 кОм) пробника.

Для удобства анализа частотных зависимостей в приборах имеются частотные метки через 1,10 и 100 кГц, которые позволяют определять ширину частотной полосы объектов.

Расстояние между метками полосы плавно регулируется и отсчитывается.

Прибор Х1-40 имеет входы КВО по переменному и постоянному току. Последний позволяет анализировать характеристики объектов, содержащих внутренний детектор.

Амплитудная модуляция глубиной 30% может быть задана сигналом (1 В) с внешнего генератора. Диапазон частот модуляции 20 Гц— 1 кГц. Использование режима АМ полезно, например, для применения приборов в составе измерителей ГВЗ.

Измеритель амплитудно-частотных характеристик Х1-36

Назначение прибора (рис. 5.32) аналогично назначению измерителя Х1-40.

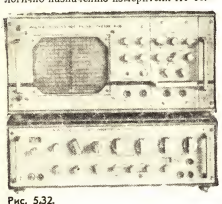


Рис. 5.32.

Основные технические характеристики

Диапазон частот разделен на 2 поддиапазона: 20 Гц — 30 кГц (I); 1—200 кГц (II)

Поддиапазоны	Полоса качания, кГц	
	широкая	узкая
I	1—30	0,02—1
II	7—200	0,1—7

Максимальное значение выходного напряжения 7 В

Импеданс выхода 600 Ом

Импеданс входа 300 кОм, 40 пФ

Величина ослабления в логарифми-

ческом масштабе 70 дБ; в линейном масштабе 40 дБ

Погрешность величины ослабления: $\pm 0{,}05 A_x$ при измерении в линейном масштабе; ±1 дБ для ослаблений до 40 дБ и ±1,5 дБ для ослаблений до 70 дБ при измерении в логарифмическом масштабе

Цена деления осциллографа 0,7 мм/мВ с делителями 1; 0,1; 0,01

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 190 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +30° С

Блок прибора	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ГКЧ	534×494×190	22
Индикатор	534×494×270	31

Прибор (рис. 5.34) имеет два независимых выхода ГКЧ, уровень сигналов с которых регулируется в пределах 0—70 дБ через 1 дБ, и два независимых входа по каналам вертикального отклонения. Он позволяет наблюдать АЧХ объекта, включенного в любой канал, а также одновременно наблюдать амплитудно-частотные характеристики объектов, включенных в оба канала, что дает возможность регулировать характеристики объекта под образцовое устройство.

В приборе предусмотрены внутренние метки через 1 и 10 кГц. Погрешность частот, обозначенных метками, не более ±50 Гц и ±500 Гц.

Имеется возможность задания меток от внешнего генератора. Для более точного отсчета частоты в приборе предусмотрена ступенчатая перестройка ее, сопровождаемая выдачей импульса синхронизации в начале каждой ступени.

Исследуемые характеристики можно записать на самописец.

Приборы для исследования амплитудно-частотных характеристик X1-38, X1-39

Назначение приборов (рис. 5.33) аналогично назначению измерителя X1-40.

Основные технические характеристики

Диапазон рабочих частот разделен на три поддиапазона:
0,1—1 МГц (I);
1—10 МГц (II);
10—100 МГц (III).

Поддиапазон	Полоса качания, кГц	
	широкая	узкая
I	от 5	0,3—5
II	от 50	2—50
III	от 500	20—500

Погрешность выбора частоты по частотным меткам $\pm(3\cdot 10^{-4}$ от значения частоты +0,05 от значения полосы качания)

Относительная погрешность измерения ослабления:

$\pm(0{,}3+0{,}06 A_x)$ дБ на частотах до 0,2 МГц,

$\pm(0{,}4+0{,}1 A_x)$ дБ на частотах 0,2—100 МГц

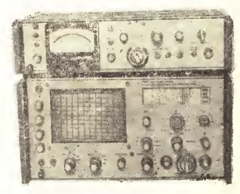


Рис. 5.33.

Импеданс выхода и входа без детектора соответственно 75 Ом и 250 кОм, 200 пФ

Импеданс входа 15 кОм, 4 пФ на частоте 10 МГц, с детектором

Собственная неравномерность частотной характеристики ±0,25 дБ

Относительная погрешность измерения ослабления для прибора Х1-39 при значениях ослабления менее 80 дБ:

±1,5 дБ на частотах до 0,2 МГц,
±2,0 дБ на частотах до 100 МГц

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, влажность до 80% при +30° С

Тип прибора	Потребляемая мощность, ВА	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Х1-38	160	490×355×135	14
Х1-39	220	490×255×275	32

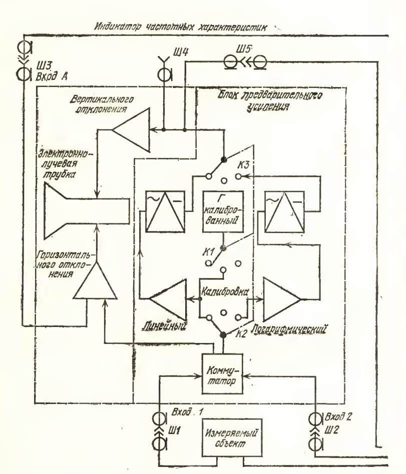


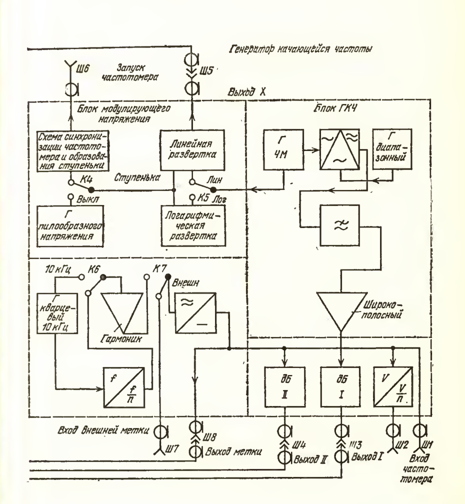
Рис. 5.34 (к прибору Х1-36).

Структурная схема прибора для исследования амплитудио-частотных характеристик Х1-38 приведеиа иа рис. 5.35.

Прибор имеет два выхода ГКЧ, уровень в одном из которых регулируется аттеиюатором в пределах 0—70 дБ, ступеиями через 1 дБ, и два входа каиалов вертикальиого отклоиеиия.

Отсчет частоты возможен по виутреиним меткам через 0,01, 01, 1 и 10 МГц, или по метке с виешиего геиератора, или с помощью частотомера.

Для удобства измерений в различных цепях в комплекте имеются проходиая, согласоваиная и высокоомная детекторные головки.



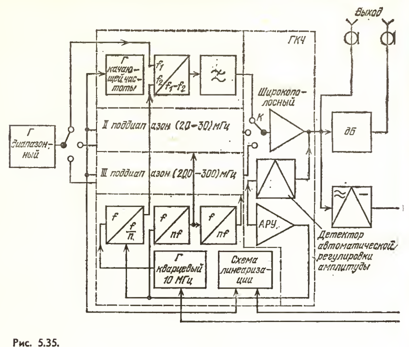


Рис. 5.35.

Измеритель частотных характеристик Х1-19А

Назначение прибора Х1-19А аналогично назначению измерителя Х1-40.

Основные технические характеристики

Диапазон рабочих частот 0,5—1000 МГц с поддиапазонами 0,5—100—200—300—400—1000 МГц

Полоса качания — все частоты, входящие в 1—4 поддиапазоны и 12% от центральной частоты для поддиапазона 400—1000 МГц

Выходное напряжение 0,5 В

Импеданс выхода 75 Ом

Величина ослабления 70 дБ, отсчет по аттенюатору через 1 дБ

Собственная частотная неравномерность амплитудной характеристики:

0,4 дБ для частот до 400 МГц,
0,8 дБ для частот до 1000 МГц

Цена деления осциллографа 25 мм/мВ

Интервалы частотных меток 1, 10, 50 МГц

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 380 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С; относительная влажность до 80% при +30° С

Габаритные размеры
510×402×565 мм

Масса 50 кг

Структурная схема прибора Х1-19А изображена на рис. 5.36. Измерения можно производить со встроенной и выносной детекторных головках. Входная емкость выносной детекторной головки не более 3 пФ, входное сопротивление не менее 10 кОм на

Вход „У"
Блок индикатора
дБ
дБ
Коммутатор
Вертикального отклонения
Схема управления
Горизонтального отклонения

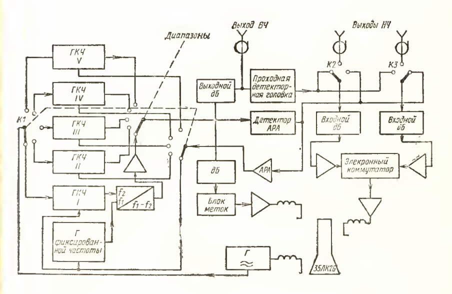


Рис. 5.36.

частоте 1000 МГц. КСВ входа встроенной детекторной головки с волновым сопротивлением 75 Ом не более 1,4.

По каналу вертикального отклонения имеются два входа. Для создания визирной линии используется сигнал с детектора выхода. По экрану индикатора можно контролировать сигнал с детектора АРМ.

Измеритель частотных характеристик X1-30

Назначение прибора X1-30 аналогично назначению измерителя X1-40.

Основные технические характеристики

Диапазон рабочих частот 0,5—1500 МГц

Величина выходного напряжения 0,2—0,5 В

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 300 ВА

Габаритные размеры

510×432×345 мм

Масса 40 кг

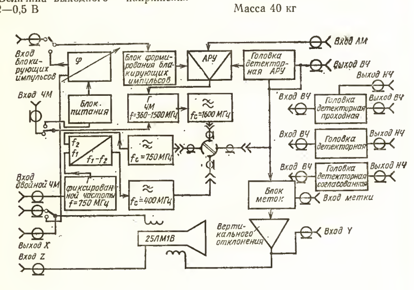


Рис. 5.37.

Импеданс выхода 75 Ом

Величина ослабления 60 дБ

Собственная частотная неравномерность амплитудной характеристики 8%

Чувствительность осциллографа 3,5 мм/мВ

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Структурная схема прибора приведена на рис. 5.37.

В приборе предусмотрена возможность амплитудной модуляции частотой 0—200 кГц, глубиной до 30%.

Напряжение внешнего модулирующего сигнала 2—15 В.

В приборе могут использоваться проходная, согласованная и высокоомная детекторные головки.

5.6. Измерители разности фаз сигналов

Диапазон частот измерителей разности фаз приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Тип прибора	Ф2-13	ФК2-12	ФК2-14
Диапазон частот, МГц	$20\cdot10^{-6}$—1	1—1000	$(0,11-7)\cdot10^{3}$

Измеритель разности фаз Ф2-13

Прибор предназначен для измерения разности фаз двух синусоидальных сигналов.

Основные технические характеристики

Диапазон рабочих частот 20 Гц — 1 МГц

Диапазон измерения фазового угла от 0 до ±180° на пределах ±18— ±36 — ±90 — ±180°

Погрешность измерения фазового угла:

$\pm(0,15\varphi_x+0,5)^\circ$ до 200 кГц,

$\pm(0,02\varphi_x+1)^\circ$ до 1 МГц

Величина напряжения выходных сигналов 0,1—10 В

Импеданс входа 1 МОм, 15 пФ

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 55 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры

370×175×385 мм

Масса 15 кг

Работа прибора основана на преобразовании разности фаз сигналов во временной интервал. Формирование импульсов в момент перехода сигнала через нуль выполняется с использованием туннельных диодов. Ступенчатый фазовращатель позволяет измерять нулевой фазовый сдвиг при значении временного интервала вблизи половины периода, что исключает влияние мертвой зоны при временном интервале, близком к нулю. В составе прибора имеются высокоомные входные пробники. Предусмотрена возможность записи измеряемой величины на самописец.

Измеритель разности фаз ФК2-12

Измеритель разности фаз ФК2-12 (рис. 5.38) предназначен для измерения разности фаз и величин напряжений двух переменных синусоидальных сигналов в широком диапазоне частот.

Основные технические характеристики

Диапазон частот входных сигналов 1—1000 МГц

Пределы измерения фазового угла

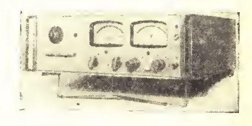


Рис. 5.38.

±180° на шкалах ±6, ±18, ±60, ±180°

Пределы измерения напряжения в канале *А:*

1—1000 мВ для частот 10—50 МГц,

15—1000 мВ для частот 1—10 МГц

Предел измерения напряжения в канале *Б* 0,3—1 000 мВ в диапазоне частот 1—500 МГц

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры

480×475×160 мм

Масса 17,5 кг

Прибор (рис. 5.39) выполнен по схеме двухканального супергетеродинного приемника с автоматической настройкой на частоту исследуемого

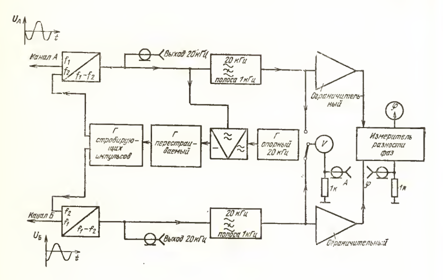


Рис. 5.39.

Уровни сигналов при измерении разности фаз в диапазоне свыше 500 МГц:

1—300 мВ в канале *А*,

0,3—300 мВ в канале *Б*

Погрешность измерения разности фаз при равных уровнях сигналов не более ±2,5°

Разрешающая способность 0,2°

Погрешность измерения при любых уровнях сигналов не более ±5°

Погрешность измерения напряжения не более ±10% до 300 МГц, не более 20% до 500 МГц

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 45 ВА

сигнала. Индикаторные устройства, обеспечивающие стрелочный отсчет и формирование аналоговых сигналов, пропорциональных напряжению и разности фаз, работают на фиксированной частоте 20 кГц.

В преобразователе частоты используются стробоскопические смесители и задающий перестраиваемый генератор 0,98—2 МГц, сигнал которого поступает на «формирователь» — генератор стробирующих импульсов. В момент действия импульсов стробоскопический смеситель находится в положении «открыт» и исследуемый или опорный входной сигнал поступает на выходную накопительную емкость. На выходах усилителей, вклю-

ченных после смесителя, получают сигналы, частота которых представляет собой разность частоты сигнала и гармоники частоты перестраиваемого генератора. Информация о форме, амплитуде и фазовых соотношениях сигналов переносится на промежуточную частоту 20 кГц. Обратная связь по переменному току обеспечивает высокую линейность преобразования при больших уровнях входных сигналов.

Для удобства эксплуатации прибора преобразователь выполнен на выносных пробниках, позволяющих производить измерения в открытых схемах. Входное сопротивление пробника 80 кОм, шунтированное емкостью 3 пФ.

Измерения на высоких частотах могут производиться с помощью тройников, которые имеются в комплекте прибора. Входное сопротивление в этом случае 50 Ом, КСВ не более 1,2 до 500 МГц и 2,5 до 1000 МГц. На задней стенке прибора имеются выходы аналоговых сигналов, пропорциональных напряжению в исследуемом канале (канал выбирается переключателем на передней панели) и разности фаз сигналов. Для расширения возможностей использования прибора при анализе структуры сигналов имеются выходы преобразованных сигналов, полоса которых может соответствовать 12 гармоникам промежуточной частоты (1-я гармоника ПЧ 20 кГц) по каждому каналу.

Прибор можно использовать как высокочастотный вольтметр при измерении одним каналом (A): при этом отсутствует необходимость калибровки и установки нуля. Используя выходы ПЧ, с помощью осциллографов, девиометра или других приборов на частоте 20 кГц можно измерить АМ, ЧМ и содержание гармоник входных сигналов.

Объединение функций измерителя напряжения и разности фаз в одном приборе позволяет применить его для измерения комплексных характеристик передачи при использовании любого ГС или ГСС, а применение дополнительных направленных ответвителей или мостов — для измерения полных сопротивлений и коэффициентов отражения, т. е. всех параметров рассеяния (S-параметров) четырехполюсников. Используя типовые источники питания и соответствующие конструкции корпусов держателей, можно измерять параметры транзисторов.

Измеритель разности фаз ФК2-14

Измеритель разности фаз ФК2-14 (рис. 5.40) предназначен для измерения разности фаз сигналов и отношения их амплитуд.

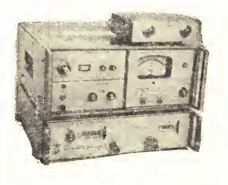


Рис. 5.40.

Основные технические характеристики

Диапазон частот входных сигналов 0,11—7,0 ГГц

Диапазон измерения фазового угла 0 — ±180° на пределах ±6 — ±18 — — ±60 — ±180°

Диапазон измерения ослабления 0—60 дБ на пределах ±3 — ±10 — — ±30 дБ

Погрешность измерения фазового угла $\pm(1+0{,}03\varphi_x+0{,}075A_x)°$, но не более 3° при отношении уровней менее 3 дБ

Погрешность измерения ослабления: $(0{,}5+0{,}03A_x)$ дБ до 50 дБ; менее 4 дБ при ослаблениях от 50 дБ

Собственная неравномерность по амплитуде менее ±0,5 дБ в полосе 400 МГц, в диапазоне 0,11—4 ГГц.

Собственная неравномерность по фазе ±2,5° в той же полосе частот

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В.

Потребляемая мощность 100 ВА.

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры:

индикатора 480×475×200 мм,

блока преобразователя 75×220×240 мм,

высокочастотного блока 120×475×480 мм

Масса 43 кг

Прибор (рис. 5.41) состоит из блока преобразователя частоты, базового блока, стрелочного индикатора и высокочастотного блока. Блок преобразования частоты объединяет стробоскопические смесители, что обеспечивает удобство подключения к исследуемому объекту, исключает влияние соединений гетеродинного тракта на фазовые измерения. Базовый блок прибора обеспечивает настройку на фиксированную промежуточную частоту 20 МГц и измерение отношений. Он включает в себя также точный атте-

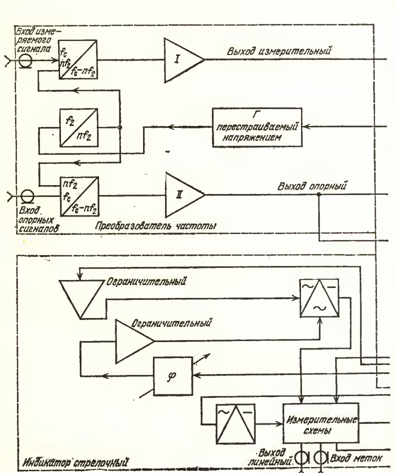
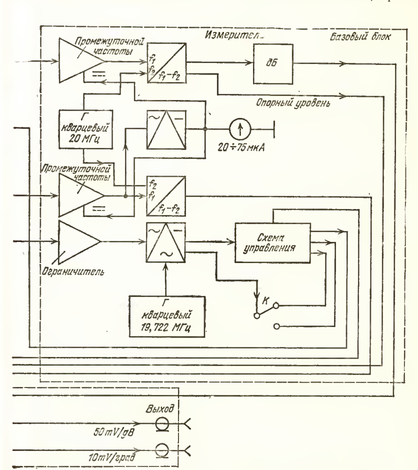


Рис. 5.41.

ниатор, позволяющий производить компенсационный отсчет отношения уровней. Выходные сигналы с частотой 278 кГц поступают на сменный блок индикации — в приборе ФК2-14 используется стрелочный индикатор, обеспечивающий отсчет с высокой разрешающей способностью 0,2° и 0,2 дБ. Для измерения комплексных коэффициентов передачи объектов в составе прибора имеется высокочастотный блок, применяемый для разделения сигнала с источника (ГС, ГСС или ГКЧ) на два канала и регулировки разности длин опорного и исследуемого каналов для их выравнивания при измерении отклонения ФЧХ от линейного закона. Имеющаяся в высокочастотном блоке линия переменной длины используется для метрологического обеспечения прибора в части проверки погрешности фазовых измерений.

Измеритель ФК2-14 позволяет измерять разность фаз и отношения уровней сигналов, изменения этих параметров (частота до 10 кГц) при исполь-



зовании аналоговых выходных сигналов). Измерения производятся на фиксированных частотных точках до 7 ГГц или непрерывно в любой точке диапазона при качании частоты (до 4 ГГц). С его помощью можно также измерять параметры фазовращателей, модуляторов, фильтров и других элементов цепей. Кроме того, он позволяет найти зависимость модуля и фазы коэффициентов передачи от параметра четырехполюсников (например, питания для активных устройств). При использовании различных ГКЧ возможны панорамные измерения. Индикация в этом случае может производиться по стандартному осциллографу, например С1-64.

Прибор ФК2-14 можно использовать как амплифазометр для различных антенных измерений: исследования влияния обтекателя, снятия амплитудных и фазовых диаграмм направленности, измерения (при использовании дополнительных антенных устройств) амплитудно-фазового распределения в ближней зоне.

Использование направленных ответвителей или специальных блоков, например, прибора РК4-10, ФК2-14 позволяет измерять все параметры передачи и отражения (S-параметры) объектов.

5.7. Измерители комплексных коэффициентов передачи

Измерители комплексных коэффициентов передачи являются комбинированными приборами, позволяющими измерять все S-параметры четырехполюсников с панорамной индикацией величин. Приборы Р4-11 и РК4-10 перекрывают диапазон частот 1—1250 МГц и 0,11—4,0 ГГц соответственно.

Измеритель комплексных коэффициентов передачи Р4-11

Прибор (рис. 5.42) предназначен для измерения комплексных коэффициентов передачи и отражений сигналов четырехполюсников в определенном диапазоне частот.

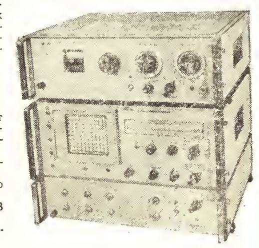


Рис. 5.42.

Основные технические характеристики

Диапазон рабочих частот 1—1250 МГц разбит на два поддиапазона: 1—610 МГц (I) и 610 — 1250 МГц (II)

Диапазон измерения ослабления от +10 до —60 дБ

Диапазон измерения фазового угла от 0 до $\pm180°$

Диапазон измерения КСВ 1,05—2,0

Погрешность измерения ослабления $\pm(0{,}5+0{,}05\,A_x)$ дБ

Погрешность измерения фазового угла $\pm(1+0{,}02\varphi_x+0{,}2A_x)°$

Погрешность измерения КСВ $\pm(5K+3)$ % в полосе частот 320 МГц

Погрешность измерения фазы коэффициента отражения $\pm(12/K+7)$ ° в полосе частот до 320 МГц и $\pm(12/K+3)$ ° — на частоте калибровки.

Погрешность измерения частоты: $\pm(0{,}015f+0{,}5)$ МГц на I поддиапазоне, $\pm0{,}005f$ МГц на II поддиапазоне

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 180 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Работа прибора основана на методе двойного преобразования частоты в СВЧ диапазоне с использованием

Блок прибора	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Измеритель	480×320×420	40
ГКЧ	480×160×420	18

сдвига частоты. Измерения проводятся в коаксиальном тракте с индикацией исследуемых параметров в декартовых или полярных координатах, непосредственно по экрану электронно-лучевой трубки. Прибор позволяет точно отсчитывать частоту по волномеру. Значение КСВ или модуля передачи можно отсчитывать по шкале прибора.

Измеритель комплексных коэффициентов передачи РК4-10

Измеритель (рис. 5.43) предназначен для исследования элементов матрицы рассеяния (S-параметров), полностью определяющих линейный объект.

Основные технические характеристики

Диапазон частот исследуемого сигнала 0,11—4,0 ГГц, при измерении параметров передачи 0,11—7,0 ГГц

Диапазон измерения ослабления —60 — +30 дБ

Диапазон измерения фазового угла 0—360°

Диапазон измерения КСВ 1,1—2, с индикацией до бесконечности

Погрешность измерения ослабления:
$\pm(0{,}5+0{,}03A_x)$ дБ до 50 дБ,
не более 4 дБ от 50 дБ

Погрешность измерения КСВ:
±5% до 2 ГГц,
±7,5% до 4 ГГц

Погрешность измерения фазового угла $\pm(1+0{,}03\varphi_x+0{,}075A_x)°$

Погрешность измерения фазы коэффициента отражения $\pm\left(\frac{7}{K-0{,}6}+5\right)^\circ$ в полосе 400 МГц до 2 ГГц и $\pm\left(\frac{16}{K-0{,}6}+5\right)^\circ$ в полосе 400 МГц до 4 ГГц

Погрешность измерения ослабления в полосе 400 МГц:
не менее ±0,5 дБ до 2 ГГц,
не менее ±1 дБ свыше 2 ГГц

Погрешность измерения фазового угла в полосе 400 МГц:
±2,5° до 2 ГГц,
не более ±5° свыше 2 ГГц

Питание от сети переменного тока

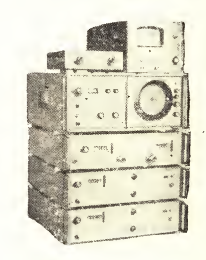


Рис. 5.43.

частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В.

Потребляемая мощность 150 ВА.

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С.

Габаритные размеры:

ФК2-14 — см. стр. 196
индикатор осциллографический 184×220×509 мм,
измеритель 0,1—1,25 ГГц 185×490×552 мм,
измеритель 1,07—4,0 ГГц 130×487×450 мм

Масса 100 кг.

Прибор (рис. 5.44) представляет собой два рефлектометра на ответвителях, аналогичных тем, что показаны на рис. 5.5. Дистанционно управляемые переключатели обеспечивают коммутацию сигналов, направляемых к четырехполюснику и входу преобразователя частоты прибора ФК2-14.

Последний — измеритель разности фаз — играет роль векторного измерителя отношений сигналов. При работе с прибором РК4-10 имеется возможность выбрать систему индикации. Измеряемые величины отсчитываются с помощью стрелочного прибора при высокой разрешающей способности.

Аналоговые сигналы с этого прибора могут быть поданы на внешний осциллограф для панорамной индикации в прямоугольных координатах. Если необходима панорамная индикация в полярных координатах, используют сменный осциллографический индикатор из комплекта прибора. Набор диаграмм позволяет непосредственно индицировать величины коэффициента передачи, КСВ, полного сопротивления, коэффициента отражения и т. п.

Высокочастотные блоки, перекрывающие диапазоны частот 0,1—1,25 ГГц, 1,07—4 ГГц, обеспечивают распределение падающих и отраженных сигналов, а также включение исследуемого объекта в согласованный тракт при измерении любого параметра. Блоки диапазонов 0,11—1,25 ГГц и 1,07—4 ГГц позволяют выбирать любой исследуемый S-параметр без присоединения СВЧ разъемов, нажатием кнопки на передней панели или дистанционно.

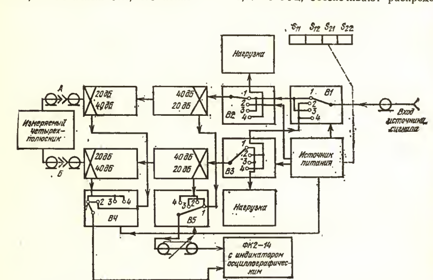


Рис. 5.44.

Аппаратура РК4-10 позволяет кон-

тролировать: коэффициенты усиления транзисторных, триодных, ЛБВ и др. усилителей; степень согласования или входное сопротивление элементов, трактов или антенных систем; электрическую длину линий передачи или любых других объектов; неравномерность АЧХ или нелинейность ФЧХ узлов, трактов, фидерных систем; все характеристики (S-параметры) активных или пассивных линейных устройств.

Для обеспечения измерений параметров транзисторов в составе прибора имеются фильтры питания, позволяющие задавать режим питания транзистора при малых искажениях ВЧ сигналов. Источником сигнала для прибора РК4-10 может служить любой ГС, ГСС, источник, имеющийся в исследуемом объекте, или ГКЧ из комплектов измерителей КСВ и ослаблений (любой источник из комплекта Р2-34 — Р2-38).

5.8. Измерители группового времени запаздывания и измерители параметров линий передачи

Измерители группового времени запаздывания и измерители параметров линий передачи различными методами определяют время задержки сигналов в линиях достаточно большой электрической длины.

Измеритель группового времени запаздывания Ф4-5

Измеритель группового времени запаздывания предназначен для панорамного измерения характеристики группового времени запаздывания (ГВЗ) активных и пассивных четырехполюсников.

Основные технические характеристики

Диапазон рабочих частот 0,1—100 МГц.

Диапазон рабочих частот, МГц	Частотная неравномерность ГВЗ, нс
1—100	±(6—17 000)
0,1—1	±(60—17 000)

Погрешность частотной неравномерности ГВЗ 2—5%

Импеданс входа 50 Ом, тракт 7/3

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 200 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

355×295×480 мм

Масса 70 кг

Работа прибора основана на методе Найквиста, с использованием амплитудной модуляции. Для определения частотной неравномерности задержки и АЧХ (контроль условий неискаженной передачи) в составе прибора можно использовать измеритель АЧХ данного диапазона, имеющий режим внешней АМ.

Прибор Ф4-5 позволяет анализировать параметры линий передачи: крутизну или непостоянство крутизны фазочастотной характеристики.

Измерители параметров линий передачи

Эти приборы позволяют аиализировать неоднородности (КЗ, разрыв и т. д.) в линии, определять расстояние до повреждения и его характер. Техические характерстики нх приведеиы в табл. 5.8.

Прибор Р5-8/1 (рис. 5.45), состоящий из нзмерителя неоднородностей кабелей Р5-8, зарядного устройства и устройства записи, позволяет записывать нмпульсную характеристику неодиородиостн волиового сопротивлення кабеля иа диаграммной бумаге прибора ПДС-021М.

Таблнца 5.8

Тип измерителя	Пределы измерения		Длительность зондирующих нмпульсов, мкс	Погрешность язмерения временной задержкн, мкс	Волновое сопротивление линий, Ом	Питание и потребляемая мощность	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	расстояния, м	временной задержкн до неоднородностн, мкс						
Р5-5	250·10³ (для воздушных линий) 25·10³ (для кабельных линий) 5·10³ (для телефонных линий)	100 400 1600	0,1—1	$0{,}05T+0{,}1$ $0{,}05T+0{,}4$ $0{,}05T+1{,}6$	35; 75 200; 600	Постоянный ток 12,6 В, 24 В; 20 Вт	140×200× ×400	9
Р5-8 Р5-8/1	10 100 1000 20 200 2000	0,1 1 10	0,03; 0,05; 0,1	$0{,}01T$	50, 75 100, 150	220 В, 50 Гц; 20 ВА 126 В, 24 В; 4 Вт (встроенный нсточник)	260×80×145 125×245× ×270	2 5,5*
Р5-9	100 1000 10000	1 10 100	0,01; 0,03; 0,1; 0,5; 2	$0{,}01T$	50	220 В, 50 Гц; 30 ВА	170×260× ×430	12,5

* Эти величины отиосятся к прябору Р5-8.

Измернтели параметров линий — малогабаритиые прнборы, нмеющие автоиомиые источники питания, удобиы для работ, связанных со строительством, наладкой, понском неисправиостей любых лиииий электропередачн и связи. Их можио примеиять во всех областях промышлениостн, при установке и коитроле систем связи со сложиой, разветвлеииой сетью кабельных коммуиикаций.

Работа прнборов осиоваиа иа измерении временного ннтервала между зоидирующим нмпульсом на входе лннии и отражеииым импульсом. По виду отражеииого нмпульса можио суднть о велнчнне и характере неоднородиостн.

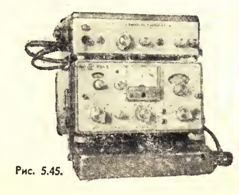


Рис. 5.45.

5.9. Приборы для калибровки аттенюаторов

Установка для калибровки аттенюаторов ДК1-5

Установка (рис. 5.46) предназначена для измерения ослаблений различных коаксиальных СВЧ аттенюаторов (как отдельных, так и встроенных



Рис. 5.46.

в ГСС), а также для измерения модуля и фазы коэффициентов передачи СВЧ четырехполюсников.

Основные технические характеристики

Диапазон рабочих частот 1—4 ГГц

Диапазоны измеряемого ослабления:

0—110 дБ при мощности источника сигнала 10^{-5} Вт,

0—140 дБ при мощности 10^{-2} Вт

Диапазон измерения фазового угла 0—360°

Входное сопротивление:

75 Ом до 2 ГГц,

50 Ом до 4 ГГц

Коэффициент стоячей волны не более 1,3

Ослабление, дБ	Погрешность измерения ослабления, дБ
20	±0,08
50	±0,11
90	±0,3
110	±0,7
140	±4

Погрешность измерения фазового угла ±3°

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 500 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

680×710×1910 мм

Масса 300 кг

Установка выполнена в виде стойки, где размещаются все рабочие блоки, а также сменный гетеродин и комплект принадлежностей (рис.5. 47). Она работает со стандартными генераторами сигналов, имеющими два выхода сигнала с независимой регулировкой уровня мощности на каждом из выходов (Г4-121, Г4-122, Г4-123, Г4-77, Г4-78, Г4-79, Г4-80).

Сигнал с одного выхода генератора, мощность которого устанавливается в пределах 10^{-9} — 10^{-10} Вт, подается на смеситель, расположенный в блоке автоподстройки. Этот сигнал используется при измерении фазы (в качестве опорного) и для фазовой автоподстройки частоты. Систе-

ма ФАПЧ обеспечивает кратковременную нестабильность промежуточной частоты до 10^{-7}, что позволяет уменьшить эффективную полосу пропускания системы измерения до 0,3 Гц и добиться чувствительности установки 10^{-19} Вт.

5—10 с (при измерении ослабления 10—20 дБ) до 1,5—2 мин (при измерении ослабления 110—140 дБ).

Возможность одновременного измерения ослабления и фазы резко расширяет область применения установки. Она используется для калибровки

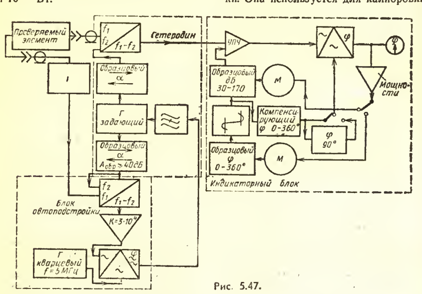


Рис. 5.47.

Сигнал со второго выхода генератора через исследуемый четырехполюсник подается на смеситель системы измерения, расположенный в блоке гетеродина.

Ослабление не более 110 дБ измеряется относительно начального уровня мощности сигнала 10^{-5} Вт. Ослабление свыше 110 дБ измеряется относительно начального уровня 10^{-2} Вт двумя ступенями с помощью аттенюатора 30 дБ, который придается в комплект установки. Время измерения ослабления комплектом в пределах от

и поверки ГСС, поверки аттенюаторов, применяющихся в качестве самостоятельных приборов, поверки фазовращателей, направленных ответвителей, вентилей, переключателей, гибридных мостов и прочих элементов СВЧ трактов.

Высокая чувствительность и хорошее качество экранировки установки позволяют использовать ее в комплекте с калиброванными антеннами для проверки качества экранировки генератора, кабелей, разъемов и прочих элементов СВЧ трактов.

Установка для поверки аттенюаторов Д1-9

Установка (рис. 5.48) предназначена для калибровки и поверки отдельных и встроенных в ГСС аттенюаторов, для измерения затухания сигналов различных четырехполюсников.

Основные технические характеристики

Диапазон рабочих частот 0,1—17440 МГц

Диапазон измерения ослабления:

0—100 дБ на частотах до 1000 МГц,
0—80 дБ на частотах до 17,44 ГГц

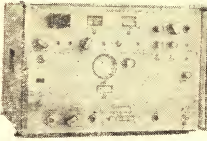


Рис. 5.48.

Диапазон рабочих частот, МГц	Входное сопротивление, Ом
0,1—30	$40\cdot10^3$
20—10^3	75
20—$7,5\cdot10^3$	50

Диапазон рабочих частот, ГГц	Сечение волноводов, мм
6,55—8,24	35×15
8,24—12,04	23×10
12,04—17 440	17×8

Коэффициент стоячей волны:
1,2 на частотах до 1 ГГц,
1,3 на частотах до 17,44 ГГц

Пределы измеряемого ослабления, дБ	Погрешность измерения, дБ, в диапазоне частот	
	до 1 ГГц	до 17,44 ГГц
70	0,1	0,35
80	0,15	0,45
90	0,3	0,7
100	0,7	—

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 150 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры
480×320×475 мм

Масса 43 кг

Установка (рис. 5.49) работает по модуляционному принципу. Вместе с ней используются генераторы сигнала, обеспечивающие режим амплитудной модуляции меандром частотой 400 Гц с глубиной модуляции 100%.

При работе на частоте менее 30 МГц сигнал с выхода исследуемого элемента подается на вход встроенного смесителя, причем промежуточная частота равна 30 кГц. При работе в диапазоне частот выше 30 МГц используется выносной смеситель, причем промежуточная частота равна 1,5 МГц. Генератор промежуточной частоты и образцовый аттенюатор работают на одной промежуточной частоте 6,5 МГц.

При работе на первом диапазоне сигнал сравнения частотой 30 кГц формируется с выхода образцового аттенюатора с помощью специального смесителя и вспомогательного генератора 6,503 МГц.

Величина ослабления отсчитывается по грубой (1,5 дБ на деление) и точной (0,01 дБ на деление) шкалам образцового аттенюатора. Изменение ослабления образцового аттенюатора может производиться автоматически с помощью электромеханической следящей системы, однако при этом пределы измерения ослабления снижаются до 70 дБ, а случайная погрешность измерения возрастает на 0,05 дБ Время, необходимое на одно измерение, в зависимости от величины измеряемого ослабления колеблется от 10—15 с до 1—2 мин.

Измерение ослабления на установке производится относительно уровня мощности сигнала 10^{-4} Вт.

Стабильность показания прибора и его чувствительность во многом определяются стабильностью частоты генератора и гетеродина.

Применение высокостабильных генераторов позволяет расширить пределы измерения ослабления на высоких частотах до 90 дБ и снизить как систематическую, так и случайную погрешность измерения.

Установка может применяться для калибровки и поверки аттенюаторов

как отдельных, так и встроенных в ГСС.

Кроме того, установка используется при регулировке и проверке направ- элементов, обеспечивающих коэффициент стоячей волны выхода генератора и входа смесителя порядка 1,05—1,1.

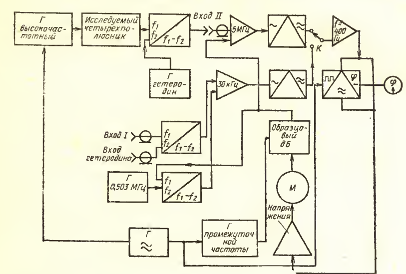


Рис. 5.49.

ленных ответвителей, вентилей, циркуляторов. Высокая разрешающая способность установки (0,01 дБ) позволяет измерять малые (0,1—1 дБ) ослабления при условии использования высококачественных согласующих

В комплекте с измерительными линиями установка может использоваться для точного измерения как больших (порядка сотен), так и малых (порядка 1,01—1,05) величин КСВ.

5.10. Некоторые примеры применения приборов

Исследование усилителей с обратной связью

Схема измерения показана на рис. 5.50. Сигнал с ГСС или ГС подается на вход усилителя. Измеритель разности фаз (ФК2-12) пробником канала *А* подключается непосредственно или через делитель к выходу генератора. Измерение коэффициента усиления и фазового сдвига осуществляется с помощью пробника канала *В* переключением его из точки *1*, где производится установка нуля фазометра, в точку *2* для отсчета отношения напряжений и фазового

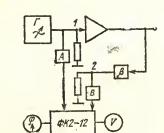


Рис. 5.50.

сдвига, т. е. коэффициента передачи разомкнутой петли. По результатам измерений можно оценить устойчивость усилителя, а также выбрать оптимальные запасы по усилению и фазовому сдвигу.

Определение электрической длины линий

Схема измерения приведена на рис. 5.51. Измерение может выполняться с помощью приборов ФК2-12

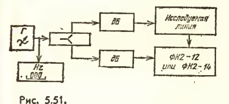


Рис. 5.51.

(в диапазоне 1—1000 МГц) или ФК2-14 (в диапазоне 0,11—7 ГГц). Задержка определяется как отношение приращения фазы к приращению частоты. Электрическая длина линии выражается формулой

$$L = 10^8 \Delta\varphi / 1,2 \Delta f \text{ [см]}.$$

Приращение фазы $\Delta\varphi$ измеряется приборами ФК2-12 или ФК2-14, приращение частоты Δf — частотомером.

Кабели, идентичные по электрической длине, можно подобрать достаточно быстро и точно, используя прибор РК4-10 или ФК2-14, с внешним

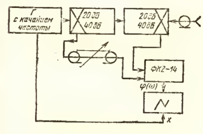


Рис. 5.52

ГКЧ и сдвоенным ответвителем. Измерения и подбор могут вестись при заделке разъема только с одной стороны кабеля (рис. 5.52). Сначала подключается образцовый отрезок и изменяется положение линии переменной длины до тех пор, пока на экране осциллографа не установится горизонтальное положение ФЧХ. Затем подсоединяется подбираемый отрезок, и длина его уменьшается до тех пор, пока на экране осциллографа не будет вновь наблюдаться горизонтальное положение кривой ФЧХ. При близких значениях длин кабелей искомую длину можно определить на одной частоте с погрешностью, соответствующей разрешающей способности прибора по фазе (0,2°). При использовании прибора РК4-10 подбираемые кабели можно подсоединить как двухполюсники, в режиме измерения параметров S_{11} или S_{22}. Достижимая в этом случае погрешность измерения неидентичности кабелей составляет

$$\pm \frac{0,2°}{360°} \lambda = 5,56 \cdot 10^{-4} \lambda,$$

где λ — длина волны в подбираемом кабеле.

Измерители S-параметров и векторные измерители отношений сигналов находят широкое применение при антенных измерениях, позволяя исследовать целый ряд специфических антенных параметров: амплитудные и фазовые диаграммы, влияние положения обтекателя, амплитудно-фазовое распределение поля в ближней зоне. При антенных измерениях необходимо обращать особое внимание на выравнивание длин опорного и исследуемого каналов. Если измерения ведутся с индикацией фазовых соотношений, то значительная разность длин каналов может привести к погрешности фазовых измерений из-за нестабильности частоты источника сигнала. Это особенно проявляется при использовании больших фидерных линий и при измерении в дальней зоне.

Список литературы

1. **Вайсфлох.** Теория цепей и техника измерения в дециметровом и сантиметровом диапазонах. М., «Советское радио», 1961.
2. **Ф. Тишер.** Техника измерений на сверхвысоких частотах. М., Физматгиз, 1963
3. **Ж. Ортюзи.** Теория электроиных цепей. Т. 1 и 2. М., «Мир», 1971.
4. **А. Фельдштейи, Л. Р. Явич.** Сиитез четырехполюсииков и восьмиполюсииков иа СВЧ. М., «Связь», 1971.



Глава 6

УСИЛИТЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ

6.1. Общие сведения

Усилители измерительные применяются в качестве предварительных усилителей слабых сигналов постоянного и переменного токов, а также в качестве выходных усилителей мощности. Их чувствительность по току достигает значений 10^{-15} А, по напряжению — нескольких микровольт. Усилители, предназначенные для повышения мощности источников звукового и ультразвукового диапазонов, имеют выходную мощность 4—6 Вт.

Усилители, как правило, строятся по многокаскадной схеме с применением разнообразных видов местной и общей отрицательной обратной связи для обеспечения стабильности коэффициента передачи и частотной характеристики.

Управление коэффициентом усиления производится с помощью межкаскадных аттенюаторов, как показано на рис. 6.1.

В усилителях, предназначенных для измерения слабых величин постоянного тока (электрометрические усилители), первые каскады усиления расположены в выносном измерительном блоке, допускающем подключение непосредственно к источнику сигнала, и выполнены на специальных электрометрических лампах, обеспечивающих большое входное сопротивление и высокую чувствительность.

Ряд усилителей имеют встроенные индикаторы уровня, позволяющие определять значение входного сигнала.

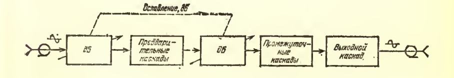


Рис. 6.1.

6.2. Измерительные усилители

Усилитель измерительный У4-12

Предназначен для усиления малых сигналов переменного тока низкой частоты (рис. 6.2).

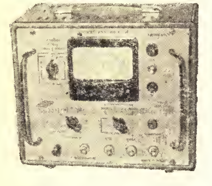


Рис. 6.2.

Основные технические характеристики

Диапазон частот 5 Гц — 30 кГц
Выходное напряжение 10 В
Выходное сопротивление 50 Ом
Диапазон изменения модуля коэффициента передачи 10—100 дБ ступенями через 10 дБ

Диапазон частот, кГц	Погрешность измерения модуля коэффициента передачи, дБ
10^{-2}—20 $5\cdot10^{-3}$—30	±0,3 ±0,5

Диапазон частот, кГц	Коэффициент гармоник, %
до 1 1—30	0,01 0,5

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 В±22 В

Входное сопротивление, Ом	Напряжение шумов, мкВ	Внутреннее сопротивление источника сигнала, кОм
250 $2\cdot10^{6}$ $2\cdot10^{6}$	5 18 8—10	∞ ∞ 100

Потребляемая мощность 55 ВА
Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С
Габаритные размеры
320×280×215 мм
Масса 8,5 кг

Структурная схема прибора приведена на рис. 6.3. Регулирование усиления в пределах 40—100 дБ осуществляется аттенюатором выходного усилителя с коэффициентом усиления 60 дБ, а в пределах 10—40 дБ — аттенюатором входного усилителя с коэффициентом усиления 40 дБ. Это позволяет иметь наилучшее отношение сигнал/шум при любом положении аттенюатора.

Усилительные каскады можно соединить между собой либо непосредственно, либо через внутренние филь-

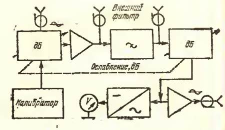


Рис. 6.3.

тры. В первом случае усилитель будет иметь равномерную частотиую характеристику в диапазоие 5 Гц — 30 кГц и коэффициент усиления 100 дБ.

Внутрениие фильтры удовлетворяют нормам МЭК 29 1962 для кривых *A*, *B* и *C*. Для получения требуемой характерностики усилительные каскады могут быть соедииены также и через внешние фильтры с параметрами $R_{вх}=50$ Ом, $R_{вых}=100—150$ кОм.

В приборе предусмотрена проверка чувствительности и калибровки. Род работы прибора выбирается с помощью переключателя.

С помощью внешних приборов усилитель можно откалибровать на любые значения коэффициента усиления.

Усилитель У4-12 может измерять величины входного переменного напряжения в пределах 30 мкВ — 3 В. При этом источник исследуемого напряжения необходимо подключать ко входу усилителя как можно более короткими экранированными проводниками, в противном случае ухудшается частотная характеристика усилителя и повышается уровень наводнмых помех. Кроме того, усилитель позволяет измерять среднеквадратическое и максимальное значения напряжения. Результат измерения индицируется стрелочным прибором. Погрешность измерения не превышает ±3%.

Выходное напряжение можно исследовать с помощью осциллографов, вольтметров, анализаторов гармоник и т. д. Применение усилителя позволяет значительно повысить чувствительность этих приборов.

Усилитель У4-12 можно использовать для усиления мощности выходных сигналов звуковых генераторов.

Усилитель мощности низкочастотный У4-27

Прибор (рис. 6.4) предназначен для усиления выходной мощности источников сигналов в диапазоне звуковых и ультразвуковых частот.

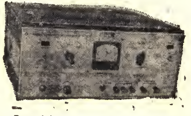


Рис. 6.4.

Основные технические характеристики

Диапазон частот 20 Гц — 200 кГц

Выходная мощность 4—6 Вт при выходном напряжении 1 В

Сопротивление нагрузки 5, 50, 600 Ом

Относительная нестабильность модуля коэффициента передачи ±(3—5)% в диапазоне рабочих частот

Коэффициент гармоник (0,5—2)%

Входное сопротивление не менее 600 Ом

Приведенный уровень шума —60 дБ

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 115 (220) В±5%

Потребляемая мощность 250 ВА

Условия эксплуатации: температура от —30 до +50° С, относительная влажность до 98% при +35° С

Габаритные размеры 500×230×480 мм

Масса 25 кг

Структурная схема прибора приведена на рис. 6.5. Входной сигнал подается на двухкаскадный усилитель напряжения, каждый каскад которого имеет местную отрицательную обратную связь по току, стабилизирующую коэффициент передачи и уменьшающую нелинейные искажения. Глубина местной обратной связи порядка 6 дБ. Усиленный входной сигнал поступает на фазоинвертор, возбуждающий мощный каскад. Последовательный двухтактный каскад усиления

мощности работает в режиме класса АВ, обеспечивает требуемую мощность при достаточно высоком к. п. д. и позволяет работать без трансформатора в широком диапазоне частот при малых нелинейных искажениях на основном выходе. Кроме основного несимметричного усилитель имеет вспомогательные симметричные выходы, рассчитанные на сопротивления нагрузки 5; 50 и 600 Ом. Переключение с основного выхода на вспомогательные осуществляется переключателем; при этом к основному выходу подключается первичная обмотка выходного согласующего трансформатора: низкочастотного на диапазон частот 20 Гц — 20 кГц или высокочастотного на диапазон частот 20—200 кГц.

Весь усилитель охвачен общей отрицательной обратной связью глубиной 20 дБ. Общий коэффициент передачи усилителя без обратной связи составляет величину около 600—1000. Выходное напряжение измеряется или вольтметром, встроенным в усилитель, или внешним прибором. Встроенный вольтметр имеет три шкалы: 7, 5; 20; 75 В, соответствующие трем значениям сопротивления нагрузки: 5, 50 и 600 Ом.

Выходные трансформаторы обеспечивают малые нелинейные искажения при достаточно большой мощности, малую неравномерность частотной характеристики в широком диапазоне частот, а также получение симметричных напряжений при трех видах нагрузки. Трансформаторы выполнены на тороидальных сердечниках, практически исключающих потоки рассеяния, что является важным фактором для обеспечения равномерности частотной характеристики в области высоких частот.

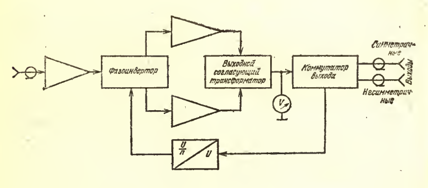


Рис. 6.5

При работе с прибором перед включением в сеть необходимо его заземлить. Для безопасности запрещается работать с усилителем при снятом кожухе, так как на конденсаторах фильтра выпрямленное напряжение составляет 500 В.

В приборе предусмотрено устройство защиты от перегрузки и короткого замыкания выхода.

Усилитель мощности следует соединять с источником сигнала как можно более коротким коаксиальным кабелем или экранированными проводами. Его можно использовать для усиления выходной мощности генераторов звуковых и ультразвуковых частот.

Усилитель измерительный низкочастотный У4-28

Прибор (рис. 6.6) предназначен для усиления малых сигналов переменного тока в диапазоне звуковых и ультразвуковых частот.

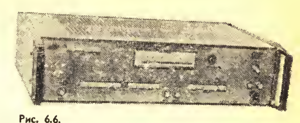
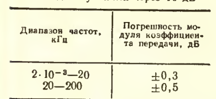


Рис. 6.6.

Основные технические характеристики

Диапазон частот 2 Гц — 200 кГц

Модуль коэффициента передачи 10—100 дБ ступенями через 10 дБ



Диапазон частот, кГц	Погрешность модуля коэффициента передачи, дБ
$2 \cdot 10^{-3}$—20	±0,3
20—200	±0,5

Дополнительная погрешность модуля коэффициента передачи ±0,15—±0.3 дБ на каждые 10° С отклонения температуры от нормальных условий эксплуатации

Сопротивление нагрузки, кОм	Выходное напряжение, В
0,6; 10	10
10	60

Диапазоны частот, кГц	Напряжение шумов, мкВ	Внутреннее сопротивление источника сигнала
$16 \cdot 10^{-3}$—50	3	0
$2 \cdot 10^{-3}$—200	5	0
$16 \cdot 10^{-3}$—50	20	∞

Входное сопротивление 1 МОм

Входная емкость 30 пФ при частоте 1000 Гц

Выходное сопротивление 50 Ом

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 В ±22 В, частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 115 (220) В±5%

Потребляемая мощность 30 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры

492×355×134 мм

Масса 11 кг

Основой прибора (рис. 6.7) является усилитель прямого усиления, состоящий из трех каскадов, охваченных последовательной отрицательной обратной связью по напряжению глубиной порядка 26 дБ. Коэффициенты усиления первого и второго каскадов 20 дБ, третьего 30 дБ. Общий коэффициент усиления усилителя устанавливается с помощью трех аттенюаторов, регулирующих глубину отрицательной обратной связи. Коэффициент затухания устанавливается до 30 дБ ступенями через 10 дБ. При регулировании коэффициента усиления в начале переключается аттенюатор, расположенный в третьем каскаде, затем срабатывает второй, расположенный перед вторым каскадом, и, наконец, третий, установленный на входе всего усилителя. Для уменьшения шумов питание основного усилителя осуществляется от стабилизированных источников.

В усилителе предусмотрены пять видов рода работы: полоса «2Гц — 200 кГц», полоса «16 Гц — 50 кГц», кривая «*А*», кривая «*С*» и «внешний фильтр». Корректирующие кривые «*А*» и «*С*» применяются при измерении шумов и отвечают нормам МЭК 29 1962 г. Фильтры 200 кГц и 16 Гц — 50 кГц введены для сужения частотного диапазона из-за жестких требований к шумам измерительного усилителя. Усилитель позволяет

получить требуемую характеристику с помощью виешнего фильтра с параметрами $R_{вх}=50$ Ом, $R_{вых}=100$—150 кОм. Режимы работы прибора выбираются с помощью переключателя. При наиболее точных измерениях, когда изменяется нагрузка усилителя, иеобходимо производить его калибровку. Калибровка усилителя осуществляется иа частоте 1000±50 Гц при альиым кабелем или экранированными проводами. При работе усилителя иа нагрузку 10 кОм и выше усилитель может выдавать наибольшее напряжение до 42,5 В средиеквадратического значения, а при работе усилителя на нагрузку 600 Ом — 10 кОм выходное напряжеиие усилителя ие должно превышать 10 В средиеквадратического зиачеиия.

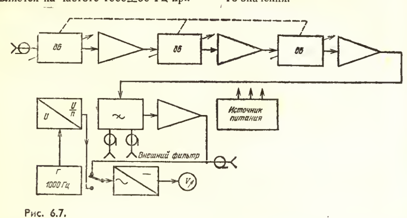


Рис. 6.7.

коэффициеите усилеиия 60 дБ. С помощью виешиих приборов можно установить другие зиачеиия коэффициента усиления. При измереиии выходиых напряжеиий геиератора и усилителя одиим прибором коэффициент усилеиия можио устаиовить с погрешностью, равной погрешиости образцового делителя.

Соедииеиие усилителя с исследуемым объектом следует производить как можио более коротким коакси-

Прибор можио использовать в качестве предварительного усилителя для повышения чувствительиости при исследоваиии сигиалов с помощью осциллографов и анализаторов гармоиик, а также в качестве выходиого усилителя для повышеиия выходной мощиости геиераторов иизкой и ультразвуковой частот. По техиическим характеристикам ои замеияет прибор У4-12.

Усилитель измерительный постоянного и переменного тока У7-2

Прибор (рис. 6.8) предиазиачеи для усиления слабых сигиалов, содержащих спектры звуковых и инфразвуковых частот.

Основиые технические характеристики

Диапазои частот 0—20 кГц

Диапазои измереиия модуля коэффициеита передачи 10—80 дБ ступенями через 1 дБ



Рис. 6.8.

Абсолютная погрешность измерения модуля коэффициента передачи:
0,45 дБ на частотах 0—10 кГц;
0,9 дБ на частотах 10—20 кГц
Выходное напряжение 10 В
Коэффициент гармоник 0,5% на частоте 1000 Гц
Входное сопротивление 1 МОм
Входная емкость 70 пФ
Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220 В±22 В

10 дБ, ступенями через 10 дБ. Его входное сопротивление на постоянном токе 1,1 МОм. На верхних частотах делитель имеет коррекцию частотной характеристики. Усилитель состоит из трех ступеней усиления с непосредственной связью, каждая из которых охвачена глубокой отрицательной обратной связью. Усиление 1-го каскада 20 дБ, а 2-го и 3-го 30 дБ.

Межкаскадный делитель напряжения с общим затуханием 30 дБ позво-

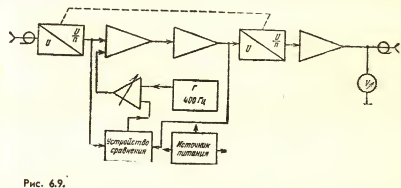


Рис. 6.9.

Потребляемая мощность 30 ВА
Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С
Габаритные размеры
385×215×235 мм
Масса 8,5 кг

Прибор построен по схеме с непрерывной автоматической компенсацией дрейфа (рис. 6.9). Основой его является усилитель, состоящий из трех каскадов. Сигнал для компенсации дрейфа формируется путем сравнения входного сигнала и части сигнала после 2-го усилительного каскада. Выделенный сигнал, обусловленный дрейфом, модулируется, усиливается, выпрямляется, фильтруется и вводится во входной каскад основного усилителя в противофазе с напряжением дрейфа. Сравнение, модуляция и демодуляция компенсирующих сигналов осуществляется с помощью вибропреобразователя.

Входной делитель позволяет изменить пределы усиления от 50 до

ляет переключать коэффициент усиления через 10 дБ и 1 дБ. В измерительном усилителе имеется вспомогательный усилитель, построенный по принципу МДМ, и служащий для усиления сигнала дрейфа. На выходе усилителя для установки «0» используется стрелочный прибор-индикатор. Переключатели позволяют устанавливать «0» как на выходе усилителя, так и на входе 2-го усилительного каскада.

При эксплуатации усилителя в неблагоприятных окружающих условиях необходимо учитывать дополнительную погрешность модуля коэффициента передачи, составляющую ±0,2 дБ на каждые ±10° С.

Присоединение усилителя к исследуемому объекту необходимо производить по возможности коротким коаксиальным кабелем или экранированными проводами. В противном случае сигнал искажается из-за наводимых помех.

По своим техническим характеристикам У7-2 заменяет прибор У4-1.

6.3. Электрометрические усилители

Электрометрические усилители У5-6 и У5-7

Приборы (рис. 6.10, 6.11) предназначены для усиления и измерения постоянных и медленно меняющихся токов от источников с большим внутренним сопротивлением, а также напряжений постоянного тока в высокоомных и низкоомных цепях.

Габаритные размеры выносного блока 72×185 мм, измерительного блока 247×210×165 мм

Масса прибора 7 кг, выносного блока 1 кг

Прибор У5-6, так же как У5-7, является четырехкаскадным лампово-

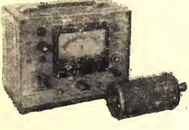


Рис. 6.10.

Рис. 6.11.

Основные технические характеристики

Пределы измерения	У5-6	У5-7
Диапазон измерения тока, А	10^{-14}—$1\cdot10^{-9}$(10 пределов)	10^{-12}—10^{-5} (15 пределов)
Диапазон измерения напряжения, В	0,01—10 (0,1—0,3—1—3—10)	0,01—10 (0,1—0,3—1—3—10)
Входное сопротивление, Ом	10^{10}; 10^{12}	10^{6}; 10^{8}; 10^{11}
Относительная погрешность измерения тока, %	±6; ±10	±(5—6)
Относительная погрешность измерения напряжения, %	±(4—5)	±4
Время измерения, с	0,02—10	0,02—0,1
Выходное сопротивление, Ом	50	50

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

транзисторным усилителем с непосредственной связью между каскадами (рис. 6.12). В выносном блоке находятся 1-й (выполненный на специальном электрометрическом пентоде ЭМ-10) и 2-й каскады усилителя, а также реле для коммутации вход-

ных сопротивлений. В режиме измерения тока весь усилитель охвачен параллельной 100%-ной отрицательной обратной связью. В основу работы усилителя положен принцип измерения слабых токов по величине падения напряжения на известном сопро-

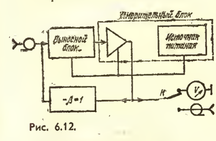


Рис. 6.12.

тивлении, представляющем собой входное сопротивление усилителя и одновременно нагрузку источника.

Общий коэффициент усиления при разомкнутой цепи отрицательной обратной связи составляет 1000.

При измерении слабых токов электрометрический усилитель и источник измеряемого тока должны быть согласованы по постоянной времени, т. е. $\tau_{ус} < \tau_{ис}$, где $\tau_{ус}$ — постоянная времени усилителя; $\tau_{ис}$ — постоянная времени источника.

Следует учитывать, что средняя скорость дрейфа нуля усилителя при постоянной температуре окружающего воздуха, поддерживаемой с точностью $\pm 2°$ С, не превышает $\pm 0{,}1$ мВ в течение 20 мин после предварительного прогрева. При изменении окружающей температуры уход нуля составляет не более 10 мВ на каждые 10° С.

Необходимо обратить особое внимание на тщательность экранировки соединения усилителя и источника.

Время установления показаний прибора менее 5 мин. Для получения наименьшей погрешности измерения следует учесть, что при работе усилителя в режиме измерения токов сопротивление источника должно быть значительно больше входного сопро-

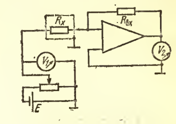


Рис. 6.13.

тивления прибора, а при работе в режиме измерения э. д. с. сопротивление источника — значительно меньше входного сопротивления прибора.

При подсоединении к выходу усилителя внешних измерительных приборов внутренний вольтметр отключается. Кроме измерения слабых токов и э. д. с., усилитель можно использовать для измерения сопротивлений резисторов и изоляционных материалов (рис. 6.13). Измеряемый объект помещается в экранированную камеру, имеющую разъем для подсоединения выносного блока. Подаваемое напряжение измеряется вольтметром V_1, а выходное — вольтметром V_2, тогда измеряемое сопротивление $R_x = R_{вх} U_1/U_2$ при условии $R_x > > R_{вх}$. Сопротивление $R_{вх}$ определяется с помощью приспособления, входящего в комплект прибора.

Прибор У5-6 имеет более высокую чувствительность по сравнению с У5-7, но меньшее быстродействие.

Усилитель напряжения постоянного тока электрометрический У5-8

Прибор (рис. 6.14) предназначен для усиления и измерения напряжений и слабых токов от источников с высоким внутренним сопротивлением.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения напряжения 3 мВ—100 В на пределах 10—30—100—300 мВ; 1—3—10—30—100 В

Пределы измерения напряжения, мВ	Относительная погрешность, %
$(0{,}3—100)\cdot 10^3$	1,5
100	2,5
30	4
10	10

Входное сопротивление 10^6; 10^9; 10^{12} Ом

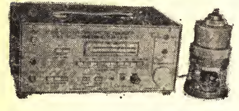


Рис. 6.14.

Питаиие от сети перемеииого тока частотой 50±0,5 Гц, напряжеиием 220±22 В

Потребляемая мощность 40 ВА

Диапазон измереиия тока $3\cdot10^{-15}$—$1\cdot10^{-4}$ А (27 пределов при трех зиачениях $R_{вх}$)

Пределы измерения напряжения, мВ	Относительная погрешность измерения тока при $R_{вх}$, %		
	10^{12} Ом	10^9 Ом	10^6 Ом
300—10^5	5	2	2
100	6	3	3
30	10	5	5
10	15	10	10

Входное сопротивление, МОм	Время измерения, с
10^3	5
10^6	35

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Габаритные размеры выиосиого блока 100×175 мм; измерительиого блока 360×185×223 мм

Масса 9,5 кг

В основу работы прибора (рис. 6.15) положен принцип измереиия слабых токов по падению напряжеиия, создаваемого ими иа известном сопротивлеиии.

Измеряемый ток от источника с большим виутреииим сопротивлеиием создает падение напряжеиия на известиом сопротивлеиии, представляющем собой элемент цепи 100%-иой параллельиой отрицательной обратной связи электрометрического усилителя постояииого тока.

При измереиии напряжеиия или э. д. с. усилитель включается по схеме со 100%-ной последовательиой обратной связью. Это позволяет измерять иапряжеиие источников, обладающих виутреииим сопротиалеиием, меиьшим входиого сопротивления прибора.

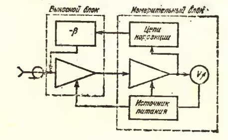


Рис. 6.15.

Электрометрический усилитель выполиеи в виде выиосиого блока, что позволяет подключить его иепосредствеино к исследуемому источиику и тем самым устраиить входиую емкость проводов, увеличивающую время измереиия, а также сиизить наводки от электрических полей. Необходимо обращать виимаиие иа тщательиость экраиировки соедииеиия усилителя и источника сигнала.

Для получеиия наимеиьшей погрешности измерений иеобходимо учиты-

вать, что при работе прибора в режиме измереиия токов сопротивлеиие источиика должио быть зиачительио больше входиого сопротивлеиия прибора, а при работе в режиме измерений иапряжения или э. д. с. — зиачительно меиьше входиого сопротивления прибора.

Выходиая емкость источиика сигиала ие должиа превышать 1000 пФ.

Прибор У5-8 можио использовать в качестве электрометрического усилителя при работе с виешним измерительиым прибором. Он позволяет производить запись исследуемого параметра самопишущими приборами.

Кроме измерения слабых токов и э. д. с., усилителем можно измерять сопротивления резисторов и изоляциоииых материалов (рис. 6.13)



Глава 7

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

7.1. Общие сведения

Эта группа приборов применяется при исследовании электрических и магнитных свойств материалов, величины и конфигурации магнитных полей.

Основными характеристиками электрического и магнитного полей являются соответственно напряженность Е и магнитная индукция В, зависящие от электрических и магнитных свойств среды, в которой эти поля создаются. Величина, показывающая, во сколько раз в данной среде сила взаимодействия между зарядами уменьшается по сравнению с вакуумом, называется относительной диэлектрической постоянной ε. В реальном диэлектрике,

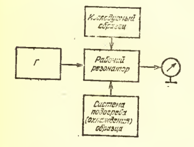


Рис. 7.1.

помещенном в электрическое поле, происходит рассеивание энергии, приводящее к нагреву диэлектрика. При постоянном электрическом поле эти потери обусловливаются проводимостью диэлектрика, а при переменном — еще и его поляризацией. Такой диэлектрик принято характеризовать комплексной диэлектрической проницаемостью, равной $\dot{\varepsilon}=\varepsilon-j\varepsilon\mathrm{tg}\delta$, где $\varepsilon\mathrm{tg}\delta$ — коэффициент диэлектрических потерь.

Часто для характеристики способности диэлектрика рассеивать энергию в электрическом поле пользуются углом диэлектрических потерь δ, дополняющим до 90° угол сдвига фаз φ между током и напряжением, а также тангенсом этого угла $\mathrm{tg}\delta$.

Измерение ε и $\mathrm{tg}\delta$ диэлектриков основано на резонансном методе (рис. 7.1). Исследуемым диэлектриком заполняется полость резонатора; изменение резонансной частоты характеризует ε, а изменение добротности резонатора связано с $\mathrm{tg}\delta$.

Измерение магнитной индукции осуществляется на основе явления ядерного магнитного резонанса (ЯМР) или эффекта Холла. Метод можно пояснить следующим образом. Если диамагнитное вещество, ядра которого имеют магнитные моменты, поместить в постоянное магнитное поле напряженностью H, то оси магнитных диполей начнут вращаться вокруг направления приложенного поля. Частота прецессии определяется формулой Лармора $\omega=\gamma H$, где ω — круговая частота прецессии; γ — гиромагнитное отношение ядра.

Частота прецессии определяется резонансным методом. Так как $B=\mu H$,

где μ — относительная магнитная проницаемость, то $B = \omega\mu/\gamma$.

Эффект Холла заключается в появлении на торцах (рис. 7.2) однородной полупроводниковой пластинки напряжения U_x, пропорционального величинам магнитной индукции B и тока I, протекающего через нее.

Измеряя U_x, можно определить B:

$$B = U_x d / IR,$$

где d — толщина пластины; R — сопротивление пластины; I — протекающий через пластину ток.

Приборы, основанные на явлении ЯМР, имеют меньшую погрешность измерения, чем приборы, использующие эффект Холла, но более сложны и имеют большие габаритные размеры и массу.

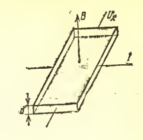


Рис. 7.2.

7.2. Измерители магнитной индукции

Измеритель магнитной индукции Ш1-1

Прибор (рис. 7.3) предназначен для измерения индукции постоянных магнитных полей.

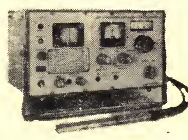


Рис. 7.3.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения магнитной индукции:

0,025—2,5 Т в полях магнитов,

0,057—0,7 Т в полях соленоидов

Относительная погрешность измерения магнитной индукции:

$\pm(0{,}01 + 0{,}001/B_x)$% при неоднородности 0,02% на 1 см,

$\pm(0{,}1\%)$ при неоднородности 0,02—0,05% на 1 см

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 30 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 98% при +30° С

Габаритные размеры

386×260×315 мм

Масса 15 кг

Принцип действия измерителя магнитной индукции Ш1-1 основан на явлении ядерного магнитного резонанса.

Для обнаружения прецессии магнитных диполей исследуемое диамагнитное вещество, заключенное в ампулу, помещают в катушку индуктивности, которая является частью контура генератора высокой частоты. Частоту генератора плавно изменяют. В тот момент, когда она становится равной частоте прецессии диполей ядер, наступает явление резонанса, проявляющееся в поглощении энергии высокочастотного магнитного поля исследуемым веществом. При этом снижается добротность катушки, а следовательно, и эквивалентное сопротивление контура генератора, т. е. уменьшается амплитуда генерируемых колебаний. Периодически изменяя напряженность магнитного поля вблизи резонансного значения, периодически изменяют амплитуду генерируемых колебаний, далее это изменение пре-

образуют детектированием в сигнал переменного тока — сигнал ЯМР.

Последний (рис. 7.4) усиливается усилителем низкой частоты и поступает на вертикально отклоняющие пластины осциллографической трубки и фазовый детектор.

Частота генератора измеряется электронно-счетным частотомером, для чего высокочастотное напряжение с контура генератора подается через согласующий усилитель на специальное гнездо.

Для поддержания условия резонан-

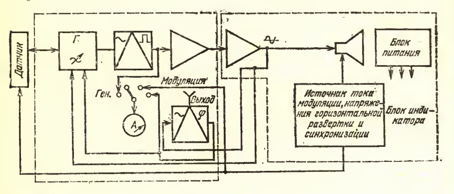


Рис. 7.4.

Благодаря тому что по катушке индуктивности протекает переменный ток частотой 50 Гц, условия ЯМР повторяются дважды за период модулирующего напряжения, т. е. дважды появляется сигнал ЯМР.

Так как горизонтальная развертка луча осциллографической трубки осуществляется также гармоническим напряжением частотой 50 Гц, синфазным с током модуляции, на экране трубки наблюдается четкий сигнал ЯМР.

Подстраивая частоту генератора, можно добиться, чтобы точка пересечения резонансных сигналов находилась в центре экрана трубки. В этом случае ЯМР возникает при прохождении тока в катушке индуктивности через нулевые значения и частота генератора точно соответствует частоте, на которой выполняется условие ЯМР.

Измеряя частоту генератора, на которой наблюдается сигнал ЯМР, находят магнитную индукцию по формуле

$$B=(2\pi/\gamma)\,\mu f=cf,$$

где f — частота ВЧ генератора; c — постоянная измерительного датчика.

са при самопроизвольном изменении частоты генерируемых колебаний и изменении за счет нестабильности измеряемого поля в приборе применена система автоматической подстройки, основными звеньями которой являются фазовый детектор и управляемый конденсатор. На один из входов фазового детектора с усилителя низкой частоты блока осциллографического индикатора поступает сигнал ЯМР, на другой — напряжение частотой 50 Гц с блока питания, синфазное с током модуляции. Величина и знак напряжения на выходе фазового детектора определяются фазой тока модуляции. Напряжение с выхода фазового детектора подается на управляемый конденсатор (варикап), подключенный параллельно контуру генератора. За счет изменения емкости варикапа частота генератора изменяется, приближаясь к значению, при котором сигнал ЯМР возникает в момент прохождения тока модуляции через нулевые значения, и, следовательно, выполняется условие ЯМР.

При использовании прибора для стабилизации поля электромагнитов кольцо автоподстройки частоты разрывается и сигнал с выхода фазового

детектора (клемма «Выход») может быть подан на вход системы регулирования тока питания электромагнита.

Во время измерения прибор не должен подвергаться толчкам, ударам, сотрясениям, так как это затрудняет поиск резонансного сигнала. Следует учитывать, что прибор удовлетворительно работает в полях с неоднородностью, не превышающей 0,05% на сантиметр. При увеличении неоднородности сигнал ЯМР резко уменьшается и становится неразличимым на фоне собственных шумов прибора. Для получения достаточно высокой однородности поля необходимо иметь плоскую шлифованную поверхность полюсов магнита при соотношении между диаметром полюсных наконечников и межполюсным расстоянием не менее 5—6. Параллельность плоскостей полюсов рекомендуется установить с высокой точностью. Полюсные наконечники должны изготовляться из однородной стали.

При использовании соленоида достаточная для измерения однородность достигается при соотношении между средним диаметром соленоида и его длиной 0,7—1. Область однородного поля находится вблизи центра соленоида. Применяя электромагнит и соленоид, необходимо стабилизировать питающий их ток.

В сильных полях следует учитывать возможное ухудшение однородности поля из-за насыщения материала полюсных наконечников.

Измеритель магнитной индукции Ш1-1 применяется при исследовании магнитных свойств различных веществ и измерениях магнитных полей в зазорах магнитных систем электрических машин, магнетронов и соленоидов.

Измеритель магнитной индукции Ш1-8

Прибор (рис. 7.5) предназначен для измерения индукции постоянных полей магнитов, электромагнитов и соленоидов.

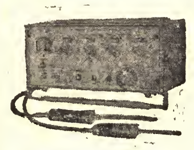


Рис. 7.5.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения магнитной индукции:

0,01—1,6 Т в полях магнитов, зонд «М»,

0,01—0,3 Т в полях соленоидов, зонд «С»

Магнитная индукция, Т	Относительная погрешность измерения, %	Поля
0,01—0,1	$\pm(1{,}5+0{,}01/B_x)$	магнитов и соленоидов
0,1—1,6	±1,5	магнитов
0,1—0,2	±1,5	соленоидов
0,2—0,3	±2	соленоидов

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В и частотой 400^{+28}_{-12} Гц, напряжением 115(220) В ±5%

Потребляемая мощность 25 ВА

Условия эксплуатации: температура от —30 до +50° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Наименование	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Измеритель	386×211×238	8
Рабочая часть зонда «М»	3×8×120	0,5
Рабочая часть зонда «С»	⌀8×500	0,6

Для нзмерения магнитной индукцин в приборе Ш1-8 (рнс. 7.6) используется эффект Холла. Напряженне

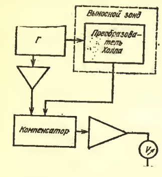


Рис. 7.6.

U_x, велнчнна которого пропорциональна индукции магнитного поля B_τ, измеряется компенсационным методом. Тем самым повышается точность нзмерения U_x н нсключаются погрешности, обусловленные нестабильностью тока питания.

Для коррекции нелнненной зависимости выходного напряжения преобразователя Холла от величины магнитной индукцин в приборе введена компенсация нелинейности для напряженностн полей не более 0,1 Т.

Преобразователь Холла выполнен в виде выносного зонда. Для удобства измерения магнитной индукции при различных конфигурациях нсследуемых областей в состав комплекта входят два преобразователя Холла: зонд «М» — для измерння в полях магнитов и электромагнитов и зонд «С» — для измерений в полях соленоидов. Корпуса зондов пластмассовые, защищенные от механнческих повреждений кожухом нз немагнитной латуни. На корпус наклеен преобразователь Холла, а на кожухе сделана отметка его местоположения. При нспользовании прибора следует иметь в виду, что правильный отсчет по прнбору может быть сделан только тогда, когда плоскость преобразователя Холла перпендикулярна направленню вектора магнитной индукции.

При многократных измерениях магнитных полей одннаковой конфнгурации необходимо нзготовить специальные насадки на зонды прибора, фиксируя их в зазоре магнитов.

В комплект прнбора входит универсальная насадка для зонда соленоидов, которая позволяет размещать зонд точно по оси соленоидов, имеющих диаметры 13—50 мм.

При измерении индукции неоднородных магнитных полей следует учитывать, что напряжение Холла (U_x) пропорционально усредненному значению индукции поля в пределах площади, ограниченной поверхностью преобразователя.

Преобразователи Холла, применяемые в приборе, имеют размеры 1,5×1×0,2 мм и могут быть использованы при неоднородностях поля не превышающих 3,5% на сантиметр. При больших неоднородностях прибор может работать только как индикатор.

Измеритель магнитной индукции Ш1-8 выполнен на полупроводниковых прнборах, обладает высокой надежностью.

7.3. Измерители параметров диэлектриков

Измеритель параметров диэлектриков Ш2-1

Прибор (рис. 7.7) предназначен для определения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь твердых диэлектриков на частоте 9365 МГц.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения диэлектрической проницаемости 1,1—30

Диэлектрическая проницаемость	Относительная погрешность измерения, %
1,1—2	±2,5
2—5	±5
5—30	±10

Диапазон измерения тангенса угла потерь $(5—100)\cdot 10^{-4}$

Относительная погрешность измерения тангенса угла потерь $\pm(40+5\cdot 10^{-3}/\operatorname{tg}\delta)$ %, при $\varepsilon\operatorname{tg}\delta \leqslant 0,2$

трик вызывает отстройку резонатора, т. е. изменяет его резонансную частоту $f_р$, что характеризует параметр ε, и изменяет добротность резонатора Q, что, в свою очередь, характеризует параметр tgδ. Структурная схема прибора приведена на рис. 7.8. Для исследования параметров ε и tgδ образцов диэлектриков в различных температурных условиях используется система подогрева и охлаждения с индикацией температуры. Прибор позволяет измерять ε и tgδ диэлектриков методами перестройки резонатора и

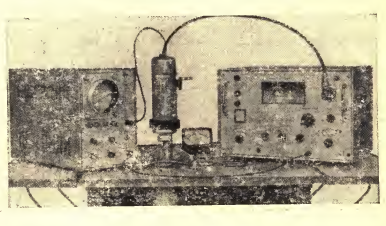


Рис. 7.7.

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 440 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 80% при +20° С

Блок	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Генераторный	540×340×320	32
Индикаторный	260×360×560	21
Стол	890×780×780	70

Измерение параметров диэлектриков производится резонансным методом: помещенный в электромагнитное поле резонатора исследуемый диэлек-

перестройки частоты. Первый из них является основным методом измерения, второй вспомогательным и применяется, когда оператор не имеет доступа к резонатору. Метод перестройки резонатора позволяет измерять в двух режимах: короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ). Измерения параметров ε и tgδ в обоих режимах проводят аналогичным образом, используя соответствующие насадки. Измерение при различных температурах образца проводится только в режиме КЗ с помощью насадок для подогрева или охлаждения образцов. Напряжение подогрева не должно превышать 150 В.

Толщина образца измеряется с точностью не более 0,01 мм в десяти точках торцевой поверхности образца, включая центр (рис. 7.9), и опре-

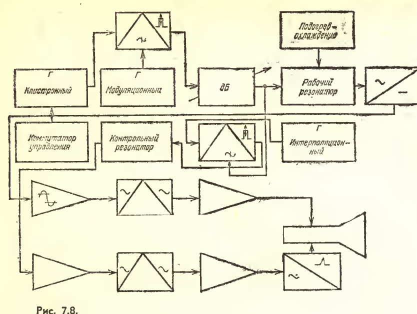


Рис. 7.8.

деляется как среднее арифметическое значение

$$d = \frac{d_1 + d_2 + \ldots + d_{10}}{10},$$

где d — толщина образца; $d_{1,\ldots,10}$ — толщина образца в различных точках.

Когда известен порядок значения ε, толщину образца вычисляют, исходя из определенных условий, указанных в инструкции. Если значения ε и tgδ неизвестны, следует изготовить два образца разной толщины и измерить несколько значений ε и tgδ для каждого из них. По полученным значениям изготовить образец оптимальной толщины по описанной в инструкции к прибору методике.

При эксплуатации прибора необходимо соблюдать осторожность, так как в индикаторном блоке имеются источники высоковольтного напряжения (более 1000 В).

При исследовании параметров образцов при пониженных температурах необходимо заполнить сосуд Дьюара жидким азотом. При этом следует соблюдать осторожность. Хладопровод насадки для охлаждения образцов опускать в сосуд с азотом нужно медленно.

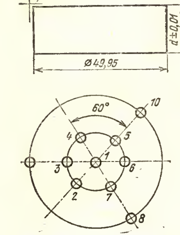


Рис. 7.9.

Предметный указатель

Алфавитный указатель

Справочник по радиоизмерительным приборам.
С71 Под ред. В. С. Насонова. Т. 1. Измерение напряжений, параметров элементов и цепей. Источники питания. М., «Сов. радио», 1976.

232 с. с ил.
На обороте тит. л. авт.: Б. А. Абубакиров, А. А. Авдеева, М. Л. Гуревич и др.

Том 1 справочника посвящен приборам для измерения напряжений в диапазоне от постоянного тока до СВЧ, измерителям параметров активных и пассивных элементов и характеристик радиотехнических цепей в широком диапазоне частот.
Справочник предназначен для широкого круга специалистов, занимающихся вопросами радиоизмерений в различных областях народного хозяйства.

С $\frac{30405\text{-}048}{046(1)\text{-}76}$ 8-76 6Ф2.08.

Булат Абдрахманович Абубакиров, Анна Андреевна Авдеева
Михаил Львович Гуревич, Борис Давидович Гудкович
Евгений Васильевич Добош, Анатолий Николаевич Елизаров
Валентин Николаевич Исаев, Юрий Васильевич Козлов
Михаил Евсеевич Майданский, Эдуард Вениаминович Нечаев
Валерий Алексеевич Санников, Николай Алексеевич Синев,
Геннадий Николаевич Смирнов, Лев Ефимович Элиан

•

СПРАВОЧНИК ПО РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ

Под редакцией В. С. Насонова

Том 1

Измерение напряжений, параметров элементов и цепей.
Источники питания

•

Редактор Э. М. Горелик
Обложка художника Ю. П. Трапакова
Технический редактор А. А. Белоус
Корректор Г. М. Денисова

Сдано в набор 29/XII 1975 г. Подписано в печать 3/IV 1976 г.
Формат 60×90¹/₁₆ Бумага типографская № 2. Объем 14,5 усл. п. л., 16,964 уч.-изд. л. Т-09909. Тираж 55 000 экз.
Зак. 626. Цена 1 р. 01 к.
Издательство «Советское радио», Москва, Главпочтамт, а/я 693

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Москва, И-41, Б. Переяславская, 46.

